

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“ALTERNATIVAS PARA LA
ESTABILIZACIÓN DE LA QUEBRADA
CANTUTA II CON FINES DE MITIGACIÓN
DE HUAYCOS”**

Presentado por:

RUT LUZMILA GARCIA CHACA

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

**Lima - Perú
2016**

DEDICATORIA

A mis padres: A mi madre Luzmila que ha sido un pilar fundamental en mi formación como profesional, por su apoyo incondicional pero más que nada por su amor. A mi padre Luis por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan que siempre me ha infundado, por el valor mostrado para salir adelante y luchar por tus sueños.

AGRADECIMIENTOS

A mi querida universidad, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA y a la facultad de Ingeniería Agrícola mi más sincero agradecimiento por brindarme la formación académica necesaria para la formulación de esta investigación.

Quiero agradecer al asesor de este estudio el Ing. Carlos Bravo por su apoyo, paciencia y consejos que siempre me brindó desde que lo conocí, convirtiéndose en un gran maestro y amigo.

A mis jurados los ingenieros Hermes Valdivia, Saúl Torres y Absalón Vásquez porque cada uno de sus consejos fueron necesarios para la culminación de este trabajo.

Porque siempre estarán en mi esos buenos y malos momentos que pasamos sin saber que un amigo es una luz brillando en la oscuridad. Gracias a las personas que de una u otra, han sido claves en mi vida profesional, y por extensión, en la personal a mis amigos del alma:

Angela que sin su ayuda este trabajo hubiera sido más largo y complicado. Gracias por tu sincera amistad, desde que nos conocimos hemos pasado tantas cosas que cada una reafirma el cariño que nos tenemos, siempre serás mi hidróloga favorita.

Katy y Carolay gracias amigas por sus ánimos y acompañarme en esta travesía, por soportarme cada vez que me sentía caer y levantarme cuando era necesario, desde el primer ciclo de la universidad nuestra amistad fue creciendo con el pasar de los años y sabemos que siempre estaremos ahí para apoyarnos.

Gabriela, Augusto y Lucio mis amigos que siempre tuvieron una palabra de aliento y su buen humor para robarte una sonrisa en cualquier momento, nos convertimos en compañeros tesisistas en los desvelos nocturnos.

Gracias a un gran profesional y persona que ha entrado en mi vida en la última etapa de la tesis, que siempre se divertía corrigiendo mi redacción y que me alentó hasta el último tramo de esta travesía ayudándome a construir mi sueño: Bladimir.

Y gracias a todas las personas que hayan apoyado de forma directa o indirectamente para culminar este trabajo de investigación, siempre podrán contar conmigo.

RESUMEN

El Perú por su ubicación y por la naturaleza de una geografía abrupta añadido a agentes externos como el Fenómeno de El Niño, es un candidato idóneo para el desarrollo de huaycos. Los huaycos son eventos geodinámicos cíclicos que en épocas de lluvias intensas transportan lodo y escombros por las quebradas que terminan desembocando en su cono de deyección, lo que representa un peligro constante para las construcciones existentes cercanas al evento. Esto sucede con la Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle – La Cantuta, que está construida dentro del cono aluvial de la quebrada Cantuta II. Los huaycos que descienden por esta quebrada se depositan en las instalaciones de la universidad, lo que ocasiona inundaciones en aulas, pistas, veredas; afectando a la institución con la suspensión de labores académicas hasta que cese el riesgo de que suceda otro evento. De acuerdo a esta problemática se plantea el Estudio de Alternativas para la estabilización geomorfológica de la quebrada Cantuta II. Para tal efecto se inició la investigación con la obtención y extrapolación de data topográfica, geología, estudio de suelos, hidrológica e hidráulica de flujo de escombros que se emplea para evaluar el tipo de flujos que transporta los huaycos. Posteriormente se estudiaron las diversas metodologías existentes a la fecha, con el propósito de lograr la estabilización de la quebrada, seleccionando la más adecuada de acuerdo a las características geomorfológicas de zona de estudio. La alternativa propuesta para estabilizar la quebrada Cantuta II consiste en un sistema mixto conformado por: zanjas de drenaje, camas de gravas y diques de piedra, ubicados estratégicamente en la zona alta, media y baja de la quebrada. El sistema mixto elegido ha dado resultados satisfactorios para estabilizar la quebrada y reducir efectos del huayco.

Palabras Claves: *Huayco, quebrada*

ABSTRACT

Peru by its location and the nature of an abrupt geography added to external agents such as El Niño phenomenon, is a candidate for the development of huaycos. These are cyclic geodynamic events carrying in times of heavy rains mud and debris by the ravines, which represents a constant danger to the existing buildings within its cone of outfall fans. This happens with the National University of Education Enrique Guzman y Valle - La Cantuta, which is built within the alluvial cone of the Cantuta II ravine. Huaycos that descend to this ravine are deposited in the University facilities, causing floods in classrooms, tracks and trails; affecting to the institution with the suspension of academic labors until stops the risk of happen another event. According to this problematic is raises the study of alternatives for the geomorphological stabilization of the ravine Cantuta II. For this purpose began research with obtaining and extrapolation of topographic data, geology, soil survey, hydrological and hydraulic debris flow that is used to evaluate the type of flow that transports huaycos. Subsequently several existing methodologies were studied to date, with the aim of achieve the stabilization of the ravine, selecting the most suitable according to the geomorphological characteristics of the study area. The proposal alternative to stabilize Cantuta II ravine consists of a mixed system formed by: drainage ditches, gravel beds and stone dykes, strategically located in the high, medium and low area of the ravine. The chosen mixed system has given satisfactory results to stabilize the ravine and reduce the effects of huaycos.

Key Words: Huayco, ravine

ÍNDICE GENERAL

Página

I.	INTRODUCCIÓN	11
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	13
2.1	Estudio de Torrentes	13
2.2	Huayco	13
2.3	Fenomeno El Niño y los huaycos	18
2.3.1	Experiencias de Huaycos a causa del FEN	19
2.4	Características generales de la cuenca Río Rimac y la Intercuenca Medio Bajo Rímac	22
2.5	Los huaycos como flujo de escombros	25
2.5.1	Hidráulica de Flujo de Escombros	25
2.6	Medidas estructurales para el control de huaycos	36
2.6.1	Medidas Alternativas para la Mitigación:	36
2.6.2	Medidas alternativas para la Prevención:	41
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	43
3.1	MATERIALES	43
3.2	MÉTODOS	43
3.2.1	Descripción de la Zona de Estudio	43
3.2.2	Recopilación de información	44
3.2.2	Caracterización de la Quebrada Cantuta II	47
3.2.3	Hidráulica de Flujo de Escombros	52
3.2.4	Evaluación de la alternativa más adecuada para estabilización de la quebrada	54
3.2.5	Selección de la Alternativa Adecuada	57
3.2.6	Diseño de la Alternativa Elegida.	57
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
4.1	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA QUEBRADA	62
4.1.1	Topografía	62
4.1.2	Geología y Geomorfología	63
4.1.3	Hidrología	67
4.2	RESULTADOS DE HIDRAULICA DE FLUJO DE ESCOMBROS	71
4.3	RESULTADOS DEL DISEÑO ELEGIDO	73
4.3.1	Diseño de la Zanja de infiltración:	73
4.3.2	Diseño de los diques de piedra:	75
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
5.1	CONCLUSIONES	76
5.2	RECOMENDACIONES	78
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
VII.	ANEXOS	811

Índice de tablas

Página

Tabla 1: Precipitaciones promedio de Lurigancho – Chosica	21
Tabla 2: Clasificación de Flujo de Escombros según Costa (1988).....	27
Tabla 3: Clasificación de Flujo de Escombros según Costa (1988) Continuación	27
Tabla 4: Tipos de flujos de acuerdo a las Características de la mezcla y del Canal ...	28
Tabla 5: Registro de los últimos Huaycos que afectaron directamente a la UNE.....	33
Tabla 6: Coeficientes de escorrentia para ser usados en el método Racional	49
Tabla 7: Parámetros Fisoograficos de la Quebrada	60
Tabla 8: Características de las Sub Cuencas Cantuta II	51
Tabla 9: Cuadro de registro de Calicatas.....	54
Tabla 10: Resumen de Ensayos Estandar de Calsificación de Suelos	55
Tabla 11: Resumen de Ensayo de Corte Directo	55
Tabla 12: Parámetros Hidrológicos	57
Tabla 13: Coeficientes regionales	57
Tabla 14: Caudales para cada Periodo de Retorno	59
Tabla 15: Clasificación de flujo en funcion de la concetración del sedimentos O´Brian y Julien, 1988	60
Tabla 16: Datos Calculados de las Zanjas de Infiltración	63
Tabla 17: Precipitaciones Máximas en 24 horas (mensuales), de la estación Santa Eulalia	82
Tabla 18: Análisis de <i>datos dudosos</i> o Consistencia de Datos	84
Tabla 19: Distribución de Probabilidades	86
Tabla 20: Prueba de Bondad de Ajuste Kolmogorov- Smirnov.....	88
Tabla 21: Ajuste de precipitaciones Máximas en 24 horas para diferentes periodos sde retorno	90
Tabla 22: Precipitaciones para duraciones Menores de 24 horas en Diferentes periodos de Retorno (mm).....	91
Tabla 23: Intensidad para duraciones menores a 24 horas (mm/hr)	92

Índice de figuras

Página

- Figura 1: Esquema de generación de Huaycos	15
- Figura 2: Las cuatro regiones del Océano Pacífico en las que los Científicos centran su atención para estudiar los vientos, las temperaturas de la superficie del mar y las precipitaciones.	18
- Figura 3: Huaycos ocurridos en el año 1987 en el distrito de Lurigancho - Chosica	21
- Figura 4: Viviendas arrasadas por el flujo del huayco. Quebrada Pedregal, 1987.	19
- Figura 5: Unidades Hidrográficas de la Cuenca del Rímac	22
- Figura 6: Típica relación entre el esfuerzo cortante (τ) la tasa de deformación (γ)	24
- Figura 7: Clasificación del tamaño de los granos (según International Society of Soil Scienc).....	26
- Figura 8: Clasificación de flujos según Coussot (1997)	28
- Figura 9: Perfiles longitudinales del canal para diferentes tipos de flujos	29
- Figura 10: Transporte de grandes bloques, debido al esfuerzo dispersivo	30
- Figura 11: Localización de la zona de estudio	41
- Figura 12: Secuelas de la inundación del año 2012 en los diferentes ambientes de la UNE	44
- Figura 13: Diseño Hidráulico del Tramo 1 de Zanjás de Infiltración.....	93
- Figura 14: Diseño Hidráulico del Tramo 2 de Zanjás de Infiltración.....	93
- Figura 15: Diseño Hidráulico del Tramo 3 de Zanjás de Infiltración.....	93
- Figura 16: Diseño Hidráulico del Tramo 4 de Zanjás de Infiltración.....	94
- Figura 17: Diseño Hidráulico del Tramo 5 de Zanjás de Infiltración.....	94
- Figura 18: Diseño Hidráulico del Tramo 6 de Zanjás de Infiltración.....	94
- Figura 19: Diseño Hidráulico del Tramo 7 de Zanjás de Infiltración.....	95
- Figura 20: Diseño Hidráulico del Tramo 8 de Zanjás de Infiltración.....	95
- Figura 21: Diseño Hidráulico del Tramo 9 de Zanjás de Infiltración.....	95
- Figura 22: Diseño Hidráulico del Tramo 10 de Zanjás de Infiltración.....	96

- **Figura 23:** Diseño Hidráulico del Tramo 11 de Zanjas de Infiltración.....96
- **Figura 24:** Diseño Hidráulico del Tramo 12 de Zanjas de Infiltración.....96

Índice de anexos

	Página
- Anexo N° 1 HIDROLOGIA	82
- Anexo N° 2 DISEÑO	92
- Anexo N° 3 PANEL FOTOGRAFICO	103
- Anexo N° 4 PLANOS	109

I. INTRODUCCIÓN

Los huaycos son las avenidas torrenciales que descienden por las quebradas como ríos torrentosos cargando materiales sólidos en los que pueden arrastrar bloques rocosos de varias toneladas de peso. Aquello representa un problema que reúne todos los elementos para ser considerado peligroso a las poblaciones cercanas a la zona del evento. Esto se percibe en los alarmantes datos estadísticos de pérdidas materiales directas e indirectas y de vidas humanas en nuestro país.

Lima es uno de los focos de este fenómeno. Con frecuencia se producen en la inter cuenca medio bajo Río Rímac, uno de los tres valles que da vida a la ciudad.

Lurigancho - Chosica y Chaclacayo son los distritos más afectados por este evento y se desarrollan a ambas márgenes del Río Rímac. Debido a la acelerada explosión demográfica y no realizarse una adecuada planificación urbana se tiene como consecuencia un porcentaje importante de urbanizaciones, asentamientos humanos y centro de esparcimientos asentados en las terrazas aluviales del Río Rímac, abanicos de quebradas y vertientes coluviales de las laderas contiguas. En La Universidad Nacional de Educación “Enrique Guzmán y Valle” - La Cantuta (UNE), ubicada en el distrito de Chosica, los huaycos del 2012 y 2015 dañaron las facultades de Tecnología y Educación Física.

La Universidad La Cantuta, en temporadas de lluvias es afectada por dos frentes; las quebradas Santo Domingo y La Cantuta II (Carrillo,2001). La primera quebrada desfoga por un encauzamiento construido en la universidad, causando efecto en las avenidas principales dentro y fuera de la UNE, en la actualidad posee un estudio a nivel de perfil para mejorar el encauzamiento y mitigar los desastres del huayco. En tanto a la segunda quebrada no ha sido estudiada hasta el momento y cuando se activa afecta de forma directa en diversas instalaciones de la universidad.

De ahí surge la necesidad el estudio de la quebrada Cantuta II, que busca establecer mecanismos de protección para hacer frente a los eventos de huaycos.

Por lo tanto, el trabajo de investigación cuenta con un objetivo central y otros derivados del este, los cuales son:

a. Objetivo general

Estudio de alternativas para la estabilización de la quebrada Cantuta II con fines de mitigación de huaycos en las instalaciones de la Universidad Nacional de Educación.

b. Objetivos específicos

- Caracterización de la quebrada Cantuta II.
- Evaluación y elección de alternativa
- Diseño de ingeniería de la alternativa escogida.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Estudio de Torrentes

2.1.1 Corriente de aguas naturales:

Las corrientes de agua naturales se pueden diferenciar en dos grupos: los ríos y los torrentes (García, 1962). Los ríos atraviesan en su recorrido valles anchos o llanuras aluviales de poca pendiente (no exceden el 1.5 %) e hidráulicamente, se encuentran en el régimen subcrítico (número de Froude < 1). Los torrentes fluyen a través de valles estrechos de pendientes irregulares y moderadas (mayor a 5%) e hidráulicamente, corresponden a un régimen supercrítico (número de Froude > 1).

2.1.2 Definición de Torrente

Tomando las definiciones anteriores, decimos que el torrente es una corriente natural de agua, cuyas crecidas son súbitas y violentas; sus pendientes, fuertes e irregulares, y que, por regla general, deposita de ciertas partes de su lecho de materiales acarreados por las aguas, lo que causa de que estas divaguen en el momento de las crecidas (Trejo, 1988).

Un torrente origina huayco, aluvión y su estudio es claramente geomorfológico (Tricart, 1961).

2.2 Huayco

La denominación “huayco” tiene muchas acepciones, entre ellas:

La Real Academia de la Lengua Española (RAE), afirma que Huayco se entiende como << *Masa enorme de lodo y peñas que las lluvias torrenciales desprenden de las alturas de los Andes y que, al caer en los ríos, ocasionan su desbordamiento*>>

Bravo (1903), indica que se da el nombre de “huayco” en la sierra del Perú a la “masa de lodo y piedras que descienden violentamente por las quebradas secundarias de la cordillera y sus ramificaciones, demoliendo cuanto hallan en su paso; son originados por lluvias excesivas, las que comiendo la superficie toda de la localidad en que descuelguen arrastran enorme cantidad de arcilla y detritus, acarreado cuanta peña halla suelta”.

Martínez (1971), afirma que “huaico”, “Llapana” o “Llocyac” que en la lengua quechua de los incas significa una avalancha con características muy peculiares, como es su origen, mecanismo, material que moviliza y velocidad con que recorre dentro de su torrentera, así: “Huaycos” son las avenidas periódicas que todos los años se presentan en las laderas de los valles interandinos entre 1,000 y 3,000 m.s.n.m., debido a fuertes lluvias después de un periodo largo de sequía, movilizand material heterogéneo de lodo y rocas que va con un movimiento lento a rápido y cuyos efectos son destructores.

Torres (1989), define a los “huaycos” como eventos producidos estacionalmente en el cauce de las quebradas. Se caracterizan por su volumen y la heterometría del material constituyente que varía desde arcillas hasta cantos rodados. Que producen efectos tan fuertes y violentos que inclusive han erosionado su propio cauce. En las zonas del cono de deyección han causado tantos daños personales como cuantiosas pérdidas materiales.

Se estima que en el Perú anualmente se producen cerca de 40 casos de huayco, especialmente entre los meses de diciembre y abril. Tres o cuatro alcanzan tal magnitud que causan daños a las carreteras, viviendas, tierras de cultivo o en el peor de los casos, la pérdida de vidas.

Carhuayal (1992), indicó que los factores que intervienen en la generación de los huaycos son:

- **Topográficos:** Fuertes Pendientes que varían desde 22° hasta 60° en las laderas de los cerros y desde 5° hasta 20° en las quebradas.
- **Litológicos:** Tipos de rocas que permiten la rápida meteorización, alteración y consecuente desintegración formando importantes acumulaciones de material suelto, los cuales se localizan en las quebradas secundarias.
- **Tectónicos:** Crean las zonas de debilidad a causa del intenso fracturamiento.
- **Climatológicos:** Zonas de clima árido o semiárido con intensas precipitaciones en cortos periodos de tiempo estacionales y/o excepcionales.
- **Antrópicos:** Producidos por la acción del hombre, consiste en actividades ganaderas (sobrepastoreo) y tala indiscriminada de bosque naturales.

2.2.1 Mecanismos de los Huaycos:

Para entender el mecanismo de estos fenómenos es necesario definir 3 zonas de diferentes características en la cuenca de origen tal como se muestra en la figura 1:

1. Cuenca de recepción o zona de producción, el riesgo es alto ya que depende de las condiciones y evolución de la sub- cuenca, quebrada y valle siendo casi imposible la defensa en esta zona por predominar la erosión temprana.
2. Canal de escurrimiento, tiene mayores ventajas pero sus condiciones topográficas dentro del cauce son críticas.
3. Cono de Deyección, es la zona de mayor actividad y aporte del material arrastrado por el huayco.

Durante periodos de lluvias, especialmente en sus inicios, hay un fuerte lavado de las vertientes de la cuenca de recepción ocasionado por el escurrimiento difuso, con el consiguiente arrastre de materiales hacia lecho de las quebradas tributarias. Estas al comienzo no son capaces de transportar la carga (a la que se agrega la dejada por las crecidas torrenciales del período lluvioso precedente), pero con la ocurrencia de lluvias violentas y con la saturación hídrica de los lechos, los flujos torrenciales se hacen más activos; a la vez que la confluencia de dos o más flujos aumenta la potencia de dichas corrientes derivadas luego se transforman en huaycos.

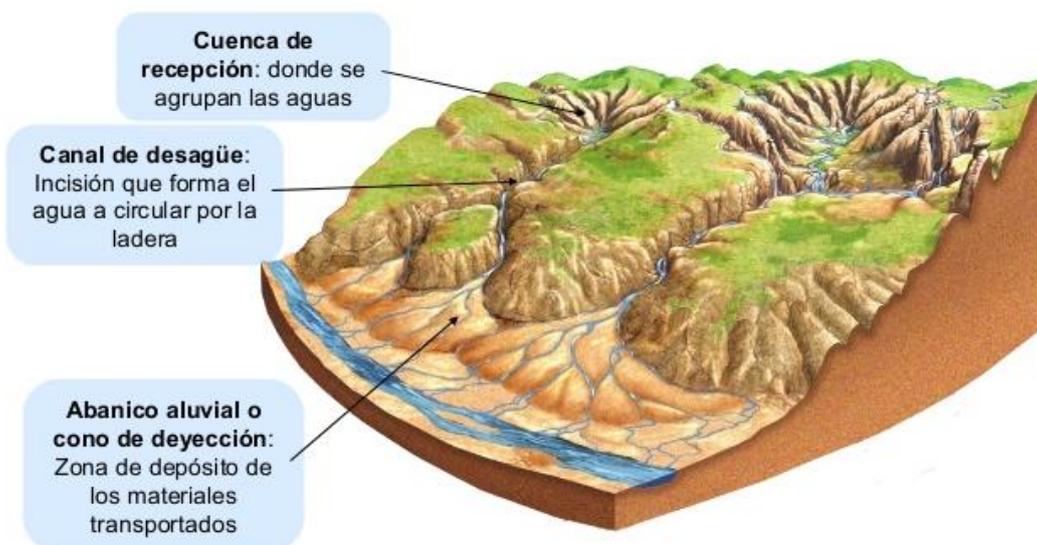


Figura 1: Esquema de generación de un Huayco.

Fuente: (Hernández, 2012)

El arrastre de material rocoso puede ser predominante en los flujos torrenciales, tienden a ser depositados en la zona de transporte, con lo que se incrementa temporalmente su

pendiente, facilitando de paso su nueva remoción. Asimismo, los lechos de esta zona, al quedar desprovistos de su carga sólida, son rápidamente erosionados por las aguas, generando inestabilidad en los taludes adyacentes y motivando derrumbamientos que nuevamente vuelven a incrementar la carga sólida. Una de las características principales de esta zona es de su forma profunda y sinuosa con un fondo desigualmente rellenado. El cono de deyección es la zona donde se acumula y depositan bloques de gran dimensión, así como lodo y materiales finos formados un abanico.

2.2.2 Tipos de huaycos

Carhuayal (1992) indica que los huaycos se presentan:

Según la frecuencia de su ocurrencia, son:

1. Periódicos.- Cuando se producen normalmente en cada temporada de lluvias.
2. Ocasionales.- Llamados también excepcionales, cuando se producen muy eventualmente, estando relacionado a lluvias también ocasionales.

Según naturaleza pueden ser:

- 1.- Huaycos de lodo (mudflows).- Están constituidos en mayor proporción por lodo y en menor porcentaje de gravas y rocas medianas.
2. Huaycos de rocas (Debris flow).- Poseen mayor porcentaje de rocas grandes y medianas en menor porcentaje de gravas y lodos
3. Huayco mixtos (Rocky Mudflow).- Están constituido de lodo, gravas y rocas en igual porcentaje.

Estos tipos de huaycos que se presentan como proceso erosivo, son bases de desarrollo para otros procesos de erosión, y por lo tanto, su estudio requiere, a su vez, el examen de las otras formas de erosión que ocurren dentro de las cuencas torrenciales. Se han reconocido varias formas y procesos de erosión que tienen incidencia en los huaycos, siendo los más importantes:

a. Formas de erosión Fluvial

Son aquellas ligadas tanto a la acción erosiva que realizan los huaycos, propiamente dichos, como el escurrimiento hídrico no saturado en materiales sólidos, que ocurren en las quebradas luego de las avenidas torrenciales. Los procesos que resultan dependen del caudal y el material transportado por las corrientes de agua, así como la forma y constitución de los lechos de las quebradas.

Se han identificado tres tipos de lechos, según predomine el material conformante: (1) ROCOSO, si el lecho está emplazado fundamentalmente en estrato rocoso; (2) ALUVIAL, si el lecho queda emplazado en materiales transportados por la corriente de agua y, (3) de alternancia ALUVIAL Y ROCOSA, cuya definición es implícita. Salvo causas específicas, la mayor erosión se efectúa en los lechos aluviales, que son puntos más críticos.

b. Proceso de Erosión en las Vertientes

Son los que ocurren en la superficie de las vertientes o laderas y son básicamente de dos categorías: las formas originadas por la escorrentía superficial o escurrimiento y, las que se generan por los movimientos en masa.

El escurrimiento difuso, es el primer proceso que ocurre por la escorrentía superficial de las aguas en las vertientes y, prácticamente abarca a toda cuenca; sin embargo, sólo en algunos lugares adquiere notable intensidad, arrastrando las partículas superficiales del suelo. Sus huellas perciben en el terreno por una serie de canalitos de pocos centímetros de profundidad que entallan en la superficie y que gradan a veces a verdaderos surcos. Este proceso es particularmente importante cuando afecta a terrenos de buena potencialidad agrícola y se considera que puede ser fácilmente controlable con una buena cubierta vegetal o cultivos bien manejados.

Cuando el escurrimiento es concentrado, se tienen los abarrancamientos que consisten en la formación de cárcavas, las cuales pueden derivar a veces a formas de terreno muy erosionadas conocidas como “bad-lans” o tierras malas. Las cárcavas derivan de la agudización del escurrimiento difuso en terrenos fáciles y proporcionan una importante carga de materiales hacia los lechos luego son evacuados por las lluvias torrenciales; su estabilización comprende tanto trabajos de reforestación como ciertas medidas de tipo ingenieril (drenaje).

Por último se tiene los movimientos de masa; se trata principalmente de pequeños derrumbes activos, cuyos nichos de desprendimiento miden unos 20 m. como máximo. Se presentan principalmente en las porciones intermedias del

área, en taludes inestables, que se generan en su mayor parte por la incisión de los lechos que alteran el perfil de equilibrio de las vertientes.

2.3 Fenómeno El Niño y los Huaycos

ROCHA (2007) señala que el Fenómeno El Niño (FEN) forma parte de un complejo cambio oceanográfico-atmosférico en el Océano Pacífico Ecuatorial. Los científicos han sectorizado la franja ecuatorial del Océano Pacífico en cuatro cuadrantes para centrar la atención en el proceso de la evolución de las temperaturas de la superficie del océano y en los vientos, (Figura 2). Para nuestra área de estudio nos interesa el cuadrante 1, porque es donde se presenta los efectos del fenómeno El Niño que afecta al país.

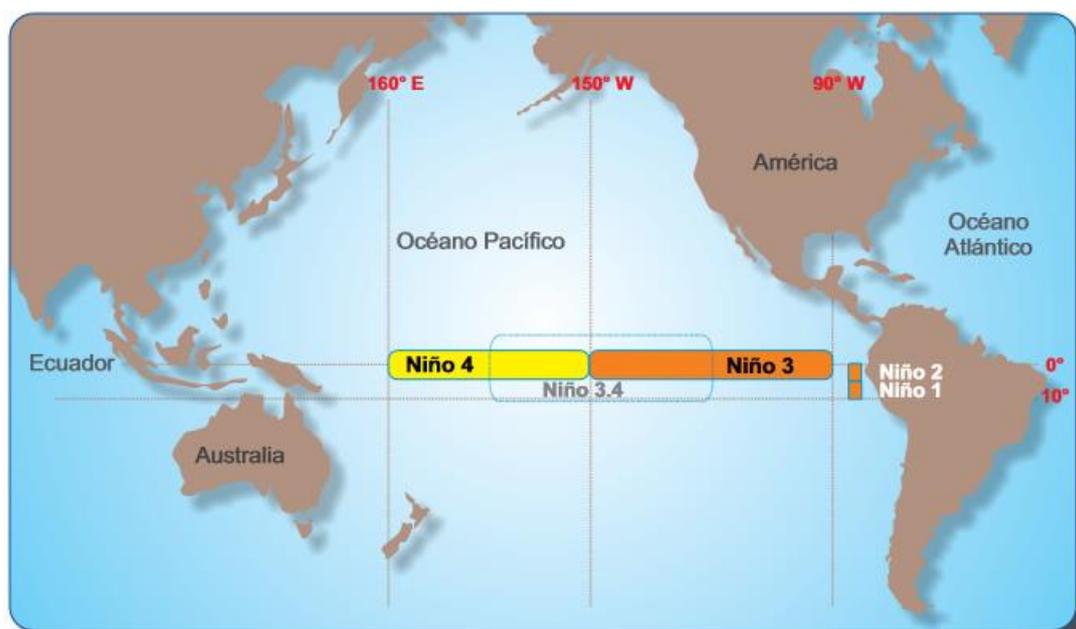


Figura 2: Las cuatro regiones del Océano Pacífico en las que los científicos centran su atención para estudiar los vientos, las temperaturas de la superficie del mar y las precipitaciones. *Fuente:* NOAA

El clima es el conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región y en torno de las cuales se organiza la vida y las actividades económicas, por ello es que resulta evidente el gran impacto que puede producir dicha modificación climática.

Frecuentemente el calentamiento del mar y del ambiente en la costa, por lo general en el norte se manifiesta más intensamente al comenzar el verano en el hemisferio sur, coincidiendo con la cercanía de la Navidad, lo que da origen a la Corriente de El Niño, que es diferente al Fenómeno de El Niño, que ocurre en cualquier época.

La presencia de estas aguas cálidas a lo largo de las costas peruanas, es un fenómeno recurrente que tiene una duración de varios meses. Ahora sabemos que este calentamiento marino-costero se acentúa cada cierto número de años, siendo una manifestación de los cambios que ocurren en las capas superficiales y sub superficiales del océano. Siendo estas características del fenómeno El Niño, sumado a otros factores, produce alta evaporación desde la superficie del mar, lo que origina fuertes e inusitadas lluvias que, a su vez, generan un notable aumento de los caudales de los ríos de la costa norte y centro peruano. Toda esta variación climática constituye una amenaza seria para los grupos humanos y para sus propiedades e instalaciones.

Durante el Fenómeno El Niño, se incrementa el número de magnitud de los destructivos torrentes de lodo, debido a las lluvias intensas que caen sobre las cuencas costeñas activando las fallas y debilidades de muchas quebradas y torrenteras, represando los ríos hacia los cuales descargan su flujo y creando lagunas nuevas y frágiles que amenazan a la población más abajo.

Cada año se produce un gran número de huaycos con terribles y costosas consecuencias. A estas lamentables pérdidas, producto de la variación estacional, se le agregarían ahora los causados por fenómenos extremos, así como el dramático e irreversible proceso de desglaciación de los Andes Peruanos, que aumenta los caudales de los ríos y crea nuevos lagos en zonas inestables, poniendo en grave riesgo a las poblaciones.

La ciudad de Lima es uno de los más afectados por este evento. Con frecuencia se producen en el distrito de Lurigancho-Chosica en la Intercuenca Medio Bajo Rímac, que forma parte de la cuenca del Río Rímac. Se tiene registro que en Lima los últimos huaycos que se originaron por el Fenómeno de El Niño fueron durante los años 1925-26, 1983, 1997-98. De los cuales los más catastróficos fueron en el 1925-26 que afectaron incluso a la central hidroeléctrica de Huampaní.

2.3.1 Experiencias de Huaycos a causa del FEN

El Fenómeno de El Niño se ha presentado muchísimas veces en el Perú. Ocurrió desde Niños leves, muy frecuentes, hasta Niños muy fuertes, también llamados Meganiños.

Icochea (2015) Señalo que durante los años 1925 y 1970 cayeron lluvias intensas en la ciudad, en que se registró el récord histórico de hasta 16 milímetros de precipitaciones (16 litros por metro cuadrado).

Otro registro que se tiene es del 9 de marzo de 1987, entre las 4:00 y 7:30 p.m., se produjeron huaycos en algunas cuencas torrenciales del distrito de Lurigancho-Chosica, ubicado en la periferia oriental de la aglomeración de Lima. Los huaycos fueron causados por precipitaciones excepcionales, afectando tanto a personas como infraestructuras; los daños materiales fueron valorizados en 12,5 millones de dólares. Las quebradas que se activaron fueron: Quirio, Pedregal y Corrales, especialmente en los conos de deyección que estaban densamente poblados. Las causas de los huaycos ocurridos el 9 de marzo de 1987 fueron principalmente naturales, relacionadas con precipitaciones pluviales intensas, la forma y pendiente de la cuenca y el material de las vertientes (RIIGEO, FIGMMG-UNMSM.).

Sin embargo, la gravedad de los daños es el resultado de una urbanización que, durante años, se desarrolló ignorando los peligros y sin ningún criterio de planificación urbana. Veinte asentamientos humanos fueron afectados, siendo los más destruidos los de la quebrada Pedregal. Hubo más de 100 muertos y un total de 1052 viviendas dañadas, 521 con pérdida estructural y 531 anegadas, quedando 3000 personas sin vivienda (Abad, 2009).

Algunos elementos afectados tienen importancia no solo a nivel local, sino también a nivel metropolitano. Estos elementos son: La Carretera Central, la bocatoma de la planta de tratamiento de agua potable La Atarjea y las centrales hidroeléctricas, principalmente la de Huampaní. La Carretera Central, la principal vía que conecta Lima con el interior del país, quedó inutilizable en un tramo de 2500 metros. Esto provocó desabastecimiento y aumento del precio de los alimentos en Lima y en El Callao, pues la Carretera Central constituye la vía principal de abastecimiento de alimentos para la capital. El tránsito fue interrumpido por 24 horas afectando a 600 camiones (PREDES, 1987).

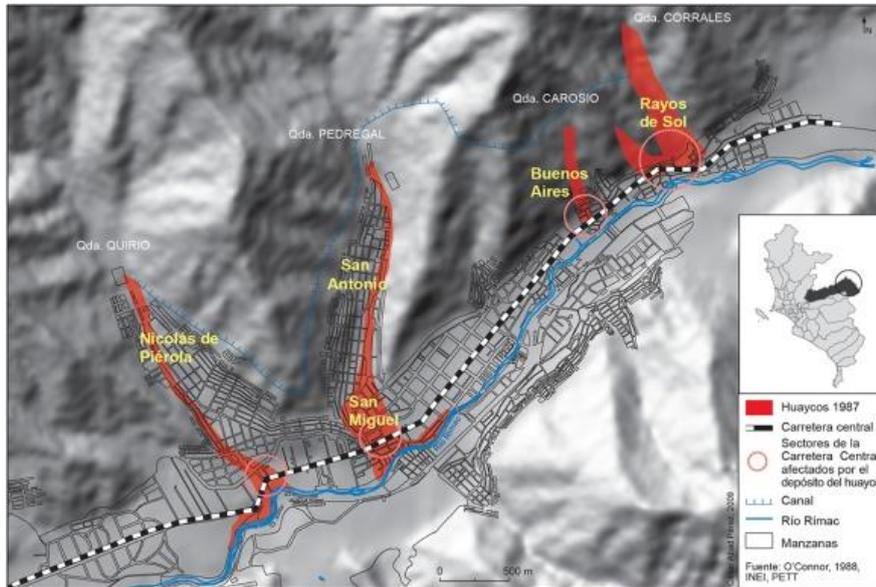


Figura 3: Huaycos ocurridos en el año 1987 en el distrito de Lurigancho - Chosica.

Fuente: (Abad,2009)



Figura 4: Viviendas arrasadas por el flujo del huayco. Quebrada Pedregal, 1987.**Fuente:**

Predes

ROCHA (2011), señala que el 14 de marzo de 1998 ocurrió un fuerte huayco en la ciudad de Lima y en ese mismo año se registró un Meganiño en el Hemisferio Sur. El evento afectó principalmente el caudal del río Rímac, ocasionando un incremento en el caudal de hasta 212 m³ /s, aproximadamente, acarreado una gran cantidad de

agua, piedras de hasta 1 m de diámetro, lodo, cuerpos flotantes y desplazando árboles, troncos, postes, maleza y material flotante diverso, ocasionando alteraciones de la sección transversal hidráulica del río Rímac y daños a las estructuras ubicadas a lo largo del río.

Durante el evento, en un sector del distrito de Chosica, se produjo el desborde de las aguas y la consiguiente inundación parcial del distrito en ambas márgenes. El agua, luego de rebasar y destruir la defensa de la margen izquierda corrió paralelamente al cauce del río y regresó a éste, destruyendo el muro de contención de aguas abajo, ocasionando daños en las estructuras de las casas, locales y calles aledañas al río Rímac en el distrito de Chosica, entre ellas la más significativa fue la destrucción del antiguo puente colgante de Chosica ubicado a 500 metros aguas arriba de la bocatoma de la Central Hidroeléctrica de Huampaní.

Se concluye que los efectos de los huaycos ocurridos en el Perú se han visto incrementados debido a la presencia de los Meganiños registrados en los años 1982, 1983, 1997 y 1998, generando pérdidas socioeconómicas significativas.

2.4 Características Generales de la Cuenca Río Rímac y la Intercuenca medio Bajo Rímac.

El río Rímac nace a 5 100 msnm en el nevado de Paca, ubicado en las provincia de Huarochirí y Lima, departamento Lima. Tiene una longitud de 132 km y es el cauce principal de la cuenca del río Rímac que tiene un área de 3503,95 km² y está compuesto por nueve subcuencas, mostradas en la Figura 5. La zona de estudio se encuentra ubicado en la Intercuenca Medio Bajo Rímac o sub cuenca Jicamarca-Santa Eulalia.

La intercuenca Medio Bajo Rímac se ubica políticamente en los distritos de: Ate Vitarte, Chaclacayo y Chosica, e hidrográficamente se localiza en la parte baja del río Rímac. El cauce principal de esta subcuenca tiene una longitud de 34.81 km, la subcuenta ocupa una superficie de 267.60 km² y representa el 7.64% del área total de la cuenca del río Rímac.

Climatológicamente, la subcuenca Jicamarca se ubica en la categoría de desierto templado húmedo, presentando una temperatura media anual mínima de 17.1 °C y lluvias esporádicas entre los meses de diciembre a marzo. Las precipitaciones mensuales promedio del distrito de Chosica para el periodo de años de 1970 a 2012 se presentan en el siguiente cuadro:

Tabla 1: Precipitaciones promedio de Lurigancho – Chosica.

Precipitaciones mensuales promedio del distrito de Chosica													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Precipitación total (mm)	-	23.2	8.8	29.2	0	0	0	0	0	1.4	0.6	0.4	63.6

FUENTE: Senamhi

Estas lluvias pueden generar fenómenos de geodinámica externas en las quebradas e inundaciones y erosión de suelos por desborde del río Rímac.

El viento tiene una dirección predominante de suroeste a noreste y principalmente por las tardes.

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida del Dr. Pulgar Vidal, la zona de estudio está localizada en la zona de vida Yunga, que presente un relieve predominante del montañoso y complejo, con valles estrechos, profundos y empinados contrafuertes andinos. En las faldas de los cerros crecen cactáceas columnares, las achupallas, la sábila, champiñones el maguey y el mito. Se cultivan bastantes arbustos frutales como el palto, la lúcuma, la chirimoya, el guayabo, el ciruelo, etc.

2.5 Los Huaycos como Flujo de Escombros

En los ítems anteriores se explicó el proceso de iniciación y factores que intervienen en la formación del Huayco.

Pero ¿Cuál será el comportamiento del flujo a lo largo de la quebrada? O ¿existirán técnicas numéricas para aproximarnos al evento?

Castillo (2006), señala que los acontecimientos descritos en los huaycos, es un flujo de escombros y la forma de deposición y las características de movimientos han sido estudiadas por geólogos e ingenieros; y a la vez despertó el interés de autoridades relacionadas a la tarea de mitigación de desastres.

En este ítem se trata de dar respuesta a las preguntas antes formuladas y se detallará más sobre las propiedades y características del flujo de escombros.

2.5.1 Hidráulica de Flujo de Escombros

Los huaycos no pueden ser tratados normalmente dentro del campo de la hidráulica fluvial, debido a las características de las concentraciones y diversidades de escombros que arrastran durante su recorrido.

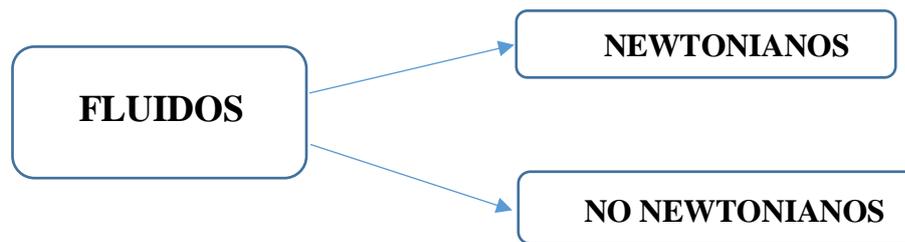
Castillo (2006) señala que la hidráulica de los flujos de escombros o hidráulica torrencial, es el estudio de las avenidas torrenciales en la cual el transporte de sólidos es tan grande que las nociones de hidráulica fluvial se desvanecen. La fase sólida influye en el flujo, es decir, no puede separarse el flujo de agua, por un lado, con sus ecuaciones de movimiento, y el transporte sólido por otro.

Por ejemplo, en un flujo de escombros en Rusia, el caudal debido al agua de precipitación era de solamente 49 m³/s. Después de recorrer 10 km y erosionar el cauce, el flujo alcanzó una descarga máxima de 490 m³/s, diez veces el flujo teórico. El caudal de lodo alcanzado es mucho mayor que en un flujo de agua sola (“agua limpia”) debido al aporte y transporte sólido.

Para entender mejor este tipo de flujo se previamente se definirá los tipos de fluidos existentes.

a. *Tipos de Fluidos:*

Un fluido es un líquido que se deforma continuamente por esfuerzos cortantes, es decir, que ofrece pequeña, o nula resistencia a las fuerzas tangenciales, o cortantes, que se le aplican. Por ejemplo, voltear un vaso conteniendo de agua.



En términos muy generales, a los fluidos que presentan una resistencia muy pequeña, o nula, a ser deformados se les conoce como fluidos Newtonianos, en tanto, a los fluidos que presentan mayor resistencia se les llama fluidos no Newtonianos.

En la hidráulica fluvial o en la ingeniería de ríos se considera este fluido como “agua limpia” y se trabaja con los conceptos de fluidos newtonianos; donde la relación entre esfuerzo cortante tasa de deformación (gradiente de velocidades) es lineal.

Cuando el transporte de sólidos es tan grande y la densidad de la mezcla se eleva por encima de la densidad del agua, las nociones de hidráulica fluvial se desvanecen y se introducen los conceptos de fluidos no – newtonianos. Desde un punto de vista hidráulico, esta rama se conoce como “Hidráulica Torrencial”.

Los fluidos no-Newtonianos comprenden en general mezclas como barros, aceites lubricantes muy viscosos, fluidos orgánicos como la sangre, etc. Y se subdividen en 3 tipos: fluidos dilatantes, pseudoplásticos y tipo Bingham.

A continuación, mostramos una breve descripción sobre cada tipo de fluido.

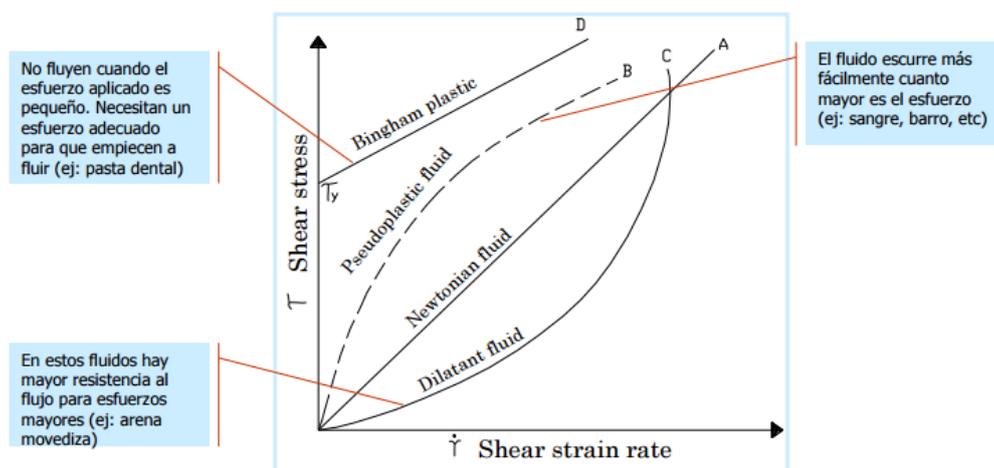


Figura 6. Típica relación entre el esfuerzo cortante (τ) y la tasa de deformación ($\dot{\gamma}$)

b. Concepto de flujo de Escombros

Según Hampton (1972), “De alguna forma de colapso en el talud trae como resultado los flujos de lodo y escombros. Los escombros que caen como un deslizamiento colectan humedad y se mueven a lo largo de la pendiente, éste se licua o se dilata conforme avanza, aumentando la movilidad del fluido”.

Según Takahashi (1980) “Los flujos de lodo y escombros son flujos antiguos conformados por una mezcla viscosa y sedimentos de todos los tamaños con acumulaciones de cantos rodados que se vuelcan en el frente de la onda y forman lóbulos, detrás del cual siguen los granos más finos”.

Según Iverson (1997), “Los flujos de lodo y escombros ocurren cuando masas de sedimento pobremente graduadas, agitadas y saturadas con agua, caen precipitadamente por efecto de la atracción de la gravedad”.

Es notorio que existen diversas definiciones sobre flujos de escombros, pero en resumen se trata de una mezcla de agua con sedimento que transita hacia aguas abajo, sobre una pendiente pronunciada y que aumenta su volumen debido a rocas, arbustos y troncos que encuentra en su camino.

c. Composición de flujo de escombros

La composición de los flujos de escombros varía debido a que éste, es un flujo de múltiples fases de granos desordenados con aire y agua mezclados entre sí. El tamaño de partículas varía desde materiales finos hasta cantos rodados suspendidos en una matriz viscosa.

Por lo tanto, entre los principales componentes tenemos: el agua, la matriz fina (partículas de arcilla) y los granos gruesos. A continuación, mostramos una breve descripción sobre cada uno de ellos.

Agua. -

El agua como componente, es el principal agente de transporte para los flujos de escombros debido a su propiedad de contener a las partículas gruesas y finas, así como envolver a todo el material que se presente en su camino. La densidad del agua (ρ_w) es muy cercana a 1000 Kg/m³.

Partículas de Arcilla. -

La densidad de las partículas de arcilla es aproximadamente a 2650 Kg/m³. La consistencia de la arcilla seca es alta y cuando se encuentra húmeda es baja. La plasticidad del suelo depende del contenido de arcilla; a mayor cantidad de arcilla,

mayor será la plasticidad. Por lo tanto, la presencia de gran cantidad de arcilla define a un tipo de flujo de lodo.

Granos. -

El grupo de granos incluye varios tipos de partículas consistiendo de mineral inerte y fragmentos de rocas el cual se diferencia apenas por sus tamaños. Como se muestra en la figura 7. Estos granos son formados por la desintegración física o mecánica de las rocas, pero conservan la estructura de sus rocas madres. Sus densidades generalmente varían entre los 2650 Kg/m³ y 2750 Kg/m³.

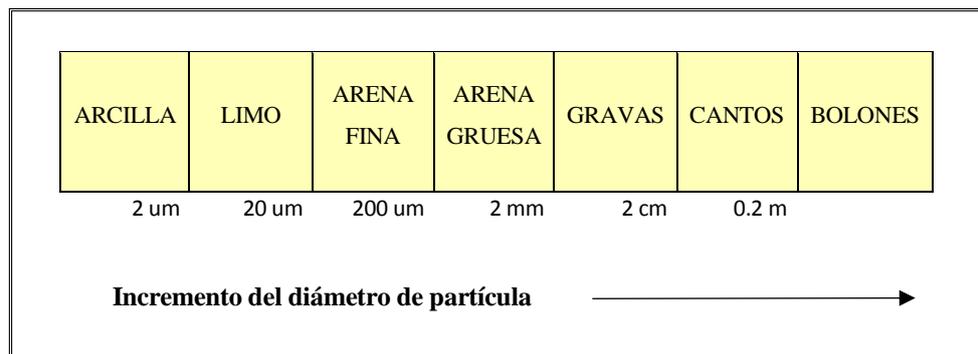


Figura 7. Clasificación del tamaño de los granos (según International Society of Soil Scienc)

d. Clasificación de Flujo de Escombros

De la literatura existen distintos criterios para la clasificación de flujos de escombros. A continuación, citaremos a:

- Costa (1988)

Se basa en el tipo del mecanismo de material, el movimiento, y la concentración del sedimento. Esta clasificación se enfoca básicamente en la banda de flujos de gravedad (mezclas de sedimento y agua) que fluyen a diversas tasas de concentraciones.

Los flujos de agua-sedimento pueden ser agrupados dentro de 3 bandas principales:

- Flujo Avenidas de agua (wáter flood).- Los flujos de corriente son flujos de agua y sedimento con bajas concentraciones de sedimento; el flujo se comporta esencialmente como un fluido Newtoniano.

- Flujos Hiperconcentrados.- Está formado por una mezcla de partículas gruesas y agua predominando la primera. Se considera un flujo hiperconcentrado si la concentración volumétrica de sedimentos en el flujo varía de 20% a 60%. No hay cohesión sino dispersión.
- Flujos de Detritos (derbis flow).- Los sólidos controlan este flujo turbulento, se puede dividir en dos fases: slurry (agua+finos) y sólida.

La tabla de Costa es conveniente para identificar estos tipos de flujo tomando en cuenta la concentración. Clasifica también los flujos desde el punto de vista reológico. Las fuerzas internas del flujo, la granulometría y el comportamiento laminar o turbulento llega a ser tomado en cuenta también para caracterizar los diferentes tipos de flujo. Los huaycos según Costa tienen un comportamiento laminar. A continuación, se muestra las tablas de clasificación.

Tabla 2. Clasificación de flujo de Escombros según Costa (1988)

Flujo	Concentración de sedimentos	Densidad de los sólidos (g/cm ³)	τ_y (dn/cm ²)	Tipo de Fluido
Avenida de Agua	1-40% en peso 0.4-20% en volumen	1.01-1.33	0-100	Newtoniano
Flujo hiperconcentrado	40-70% en peso 20-47% en volumen	1.33-1.80	100-400	No Newtoniano
Flujo de escombros	70-90% en peso 47-775 en volumen	1.80-2.30	>400	Viscoplástico

Tabla 3. Clasificación de flujo de Escombros según Costa (1988) Continuación.

Flujo	Mayor mecanismo de soporte de los sedimentos	Viscosidad (poise)	Perfil de concentración de sedimentos	Tipo de flujo predominante
Avenida de Agua	Fuerzas electrostática, turbulencia	0.01-20	No uniforme	Turbulento
Flujo hiperconcentrado	Empuje, esfuerzo dispersivo, turbulencia	20-200	No uniforme a uniforme	Turbulento a Laminar
Flujo de escombros	Cohesión, empuje, esfuerzo dispersivo, soporte estructural	>>200	Uniforme	Laminar

- Coussot (1997)

El investigador francés Coussot (1997) clasifica los huaycos basándose en los parámetros la concentración y la granulometría del material sólido, tal como se ve en la figura 8. El flujo torrencial, flujo hiperconcentrado, así como también los deslizamientos de suelos llegan a ser contemplados dentro de ésta clasificación de flujos.

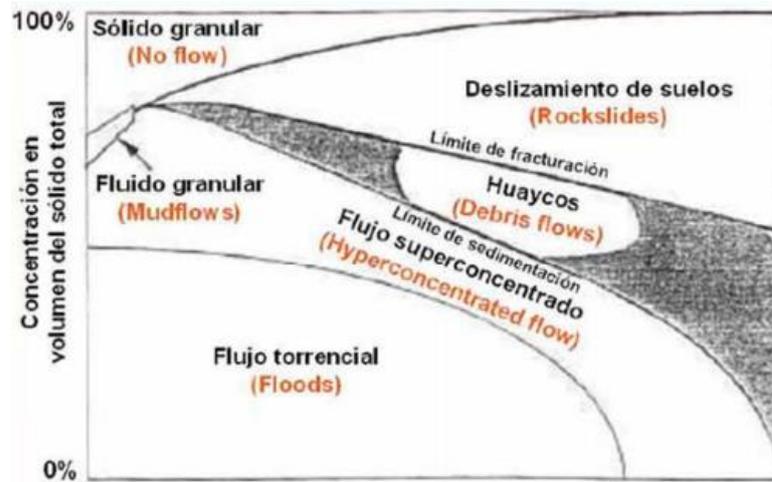


Figura 8. Clasificación de flujos según Coussot (1997)

- Jaime Suárez Díaz (2001)

Suarez (2001) señala la existencia de tres tipos de flujos: Lodos, hiperconcentrados, y de detritos. Resumió los criterios generales en la siguiente tabla 3, donde determino el tipo de flujo que se va a presentar con base en las características de la mezcla y del canal.

Tabla 4. Tipos de flujo de acuerdo a las características de la mezcla y del canal.

Características de los sedimentos	Concentración de sedimentos de la mezcla (Kg/m ³)	Pendiente del canal					
		> 100% (45°)	100 a 50%	50 a 20%	20 a 10%	10 a 5%	< 5%
		Tipo de flujo					
Más del 20% del peso total de sedimentos son partículas finas (d < ASTM#200)	<90	Flujo hiperconcentrado		Flujo de lodo			
	>90	Flujo de lodo					
Menos del 20% del peso total de sedimentos son partículas finas (d < ASTM#200)	<300	Flujo hiperconcentrado					
	300 a 600	Flujo turbulento de detritos (Debris flow)		Flujo hiperconcentrado			
	600 a 900	Flujo turbulento de detritos (Debris flow)					
	>900	Flujo laminar de detritos					

FUENTE: Jaime Suárez Díaz, “Control de Erosión en Zonas Tropicales”, pag. 174

Luego propuso una clasificación que muestra es de algunas avalanchas que está en función de los perfiles longitudinales de los canales característicos de cada tipo de flujo. Los flujos de detritos ocurren generalmente en canales de gran pendiente y tiene una longitud de recorrido menor que los flujos hiperconcentrados y los flujos de lodo.

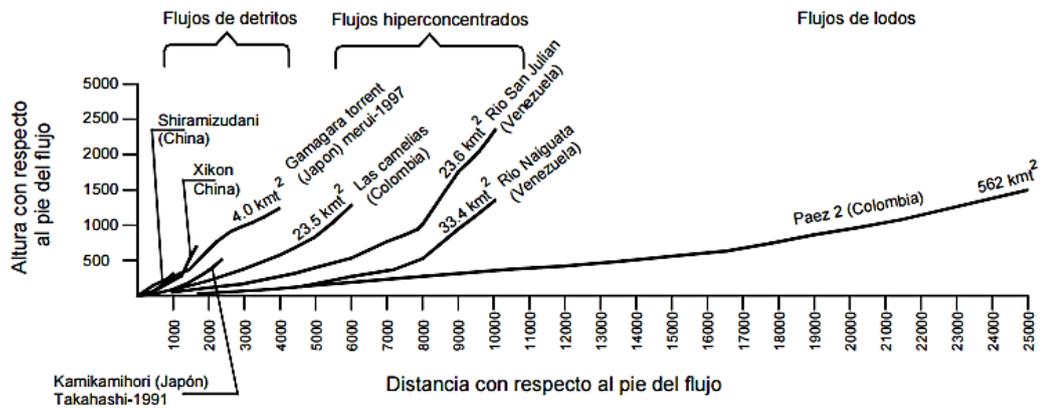


Figura 9. Perfiles longitudinales del canal para diferentes tipos de flujo (Fuente: Jaime Suárez Díaz, “Control de Erosión en Zonas Tropicales”, pág. 175).

e. *Conceptos Importantes del Mecanismo de Soporte de Partícula*

La facilidad que tienen los flujos de escombros para transportar partículas gruesas de diversos tamaños y moverse a grandes distancias con pendientes pequeñas ha intrigado a muchos investigadores. El tamaño máximo de partículas que pueden ser movidas por un “slurry” o matriz es generalmente decenas de veces mayor que aquellas para agua limpia, y entre mayor sea la viscosidad efectiva del slurry y menor la velocidad del flujo, es mayor ésta relación. Para explicar estas observaciones, se revisará los diversos mecanismos de soporte de partículas como se muestra a continuación.

Esfuerzo Dispersivo

Basado en el concepto de esfuerzo dispersivo por Bagnold (1954). El cual realizó experimentos con partículas cizallándose en un cilindro giratorio y observó que los esfuerzos de soporte de la partícula eran generados por el resultado de la colisión entre partículas. El esfuerzo normal fue llamado esfuerzo dispersivo.

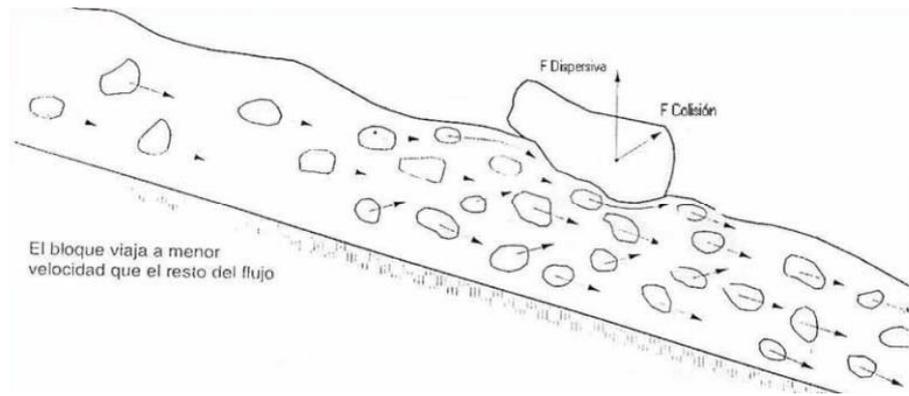


Figura 10. Transporte de grandes bloques, debido al esfuerzo dispersivo. *Fuente:* Jaime Suárez Díaz, “Control de Erosión en Zonas Tropicales”

Fuerza Matricial

“Se observa que si una partícula suspendida en un flujo de lodo estacionario es empujada hacia abajo, tiende a hundirse un poco y quedarse en esa posición, sin retornar a la superficie o hundirse hasta el fondo” (Johnson, 1970)

Según Hampton (1975) existe una red de partículas de arcilla floculadas a todo lo largo del fluido. La floculación es la resultante de fuerzas atractivas netas entre dos partículas de arcilla.

La fuerza mínima requerida para romper esta red de partículas floculadas ha sido definida como la Fuerza matricial de Johnson.

f. *Propiedades de Flujo de Escombros*

Velocidad

La velocidad del flujo de escombros varía de 0.5 m/s a 20 m/s. También está relacionado con la geometría del canal, pendiente y tipo de flujo.

Para el caso de flujos de lodo, Johnson y Rodine (1984) utilizan la sobreelevación en las curvas como parámetro para calcular la velocidad del flujo:

$$\omega = [g\psi \cos \delta \tan \beta]^{1/2}$$

donde:

ω = velocidad promedio

Ψ = Radio de la curva

δ = Pendiente del canal

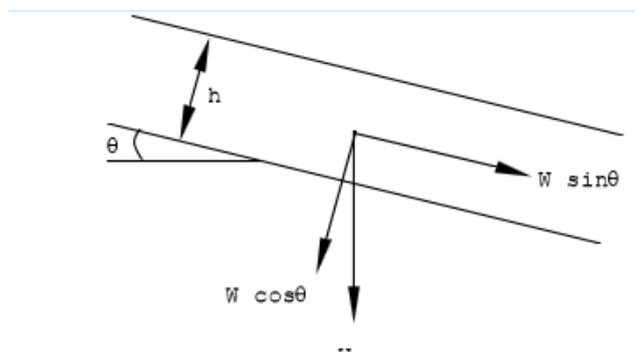
β = Sobreinclinación del flujo en curva

Pendiente

Ocurren en pendientes pronunciadas, pero también tiene la habilidad de fluir en pendientes muy suaves.

Pendientes observadas de 2% a 32% (Costa, 1984)

Por medio de un análisis de estabilidad simple para un ancho y longitud unitaria completamente saturada, de altura h , con pendiente $\text{Sen}\theta$ y con ángulo de fricción Φ , se obtiene el criterio de Iniciación del movimiento de flujos de escombros.



Del grafico:

$$W = \gamma_{\text{sat}} h$$

$$\tan \theta = \frac{\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w}{\gamma_{\text{sat}}} \tan \phi$$

$$\sigma = W \cos \theta$$

$$\tau = W \sin \theta$$

Ángulo de Deposición

Observaciones de campo indican que hay cierto ángulo de pendiente límite donde la oleada del flujo de escombros pierde su capacidad de viajar a velocidad uniforme y desacelera, empezando a depositarse. Como primera aproximación, se asigna un ángulo de 10° para el comienzo de una deposición.

De la literatura se sugiere asumir un rango de ángulos de deposición entre 10° y 14° para flujos abiertos o no confinados y de 8° a 12° para flujos canalizados o confinados.

Caudal del Flujo de Escombros

Para la estimación de los caudales máximos de los flujos de escombros existen 2 metodologías más usadas, la de JICA (Japan International Cooperation Agency) y la de O'Brien (2000).

1. Metodología JICA – Takahashi (1981)

La metodología usada por JICA se basa en los desarrollos de Takahashi. El cual representa el volumen de lodo y escombros es igual a:

$$V_s = V_a \left[\frac{C_d}{C^* - C_d} \right]$$

Donde:

V_s : Volumen de detritos en m^3

V_a : Volumen de agua en m^3

C_d : Densidad volumétrica del flujo de lodo y piedras

C^* : Densidad volumétrica de sedimentos del lecho

Según (Montserrat, 2005) el caudal máximo de flujos detríticos propuesta por Takahashi (1978, 1981), la cual liga el caudal máximo del flujo detrítico con el caudal máximo líquido de la descarga. El Gobierno de Japón (Ministerio de la Construcción) propone este método para flujos detríticos donde el material proviene principalmente de la erosión del lecho (Ayala, 1996).

Takahashi (1978, 1981) determina el caudal máximo de la corriente de detritos mediante la siguiente expresión:

$$Q_d = Q_0 P = Q_0 \frac{C^*}{(C^* - C_d)} \quad (\text{Ecuación.1})$$

Donde:

Q_d : Representa el caudal máximo del flujo detrítico

Q_0 : El caudal máximo líquido

P : Corresponde a un coeficiente de amplificación,

Cd : Concentración volumétrica de sólidos y

C* : La concentración máxima de los sólidos (o concentración de empaquetamiento). Generalmente C* toma valores del orden del 65%. Y Cd se estima según la siguiente ecuación:

$$C_d = \frac{\rho}{\rho_s - \rho} \frac{\tan\alpha}{(\tan\phi - \tan\alpha)}$$

Donde:

α corresponde al ángulo de inclinación del lecho, y ϕ al ángulo de fricción interna del material depositado (entre 30° y 40°). Cd es denominada por Takahashi (1981) como la concentración de equilibrio del flujo, la cual se alcanza en condiciones estacionarias. Resultados obtenidos mediante esta ecuación muestran una buena correlación con datos experimentales (Takahashi, 1981).

Las otras ecuaciones aplicadas siguiendo el método de Takahashi, son las que permiten estimar el caudal máximo de lodos y piedras, y caudal máximo de material fino; como una función del caudal líquido. Siendo la siguiente de ecuación una variación de la Ecuación 1.

$$Q_t = \left[\left(1 + \frac{V_s}{V_a} \right) + \left(\frac{\rho-1}{\sigma-\rho} \right) \right] * Q_p \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde Vs (m³) es el volumen de detritos, Va (m³) volumen del agua, ρ (t/m³) es la densidad del fluido de detritos y σ (t/m³) es la densidad del sedimento, Qp (m³/s) es el caudal líquido.

2. Metodología O'Brien (2000)

Otra metodología empleada es la propuesta por O'Brien (2000) donde el hidrograma de flujo de detritos se estima a partir del hidrograma de flujo de agua multiplicado por un factor que es una función de la concentración volumétrica de detritos. La ecuación utilizada por O'Brien es la siguiente:

$$Q_t = BF * Q_l$$

$$BF = \frac{1}{1 - C_v}$$

Donde

Q_t : Caudal total de flujo de detritos (m³/s)

Q_l : Caudal líquido (m³/s)

BF: Factor (Bulking Factor)

C_v : Concentración volumétrica de detritos.

Según la referencia de O'Brien (2000), para flujos de detritos el valor de C_v varía entre 0.20 (para flujos bajos) y 0.45 (para flujos altos).

2.6 Medidas Estructurales para el Control de Huaycos

Dentro de la alternativa para el control de huaycos se encuentran las medidas estructurales, son aquellas medidas tácticas o ingenieriles, que se encuentran orientadas a la construcción de obras o métodos manuales ejecutados por el hombre, con el objetivo de prevenir o mitigar los desastres ocasionados por el huayco.

Dentro de las medidas se puede encontrar:

2.6.1 Medidas Alternativas para la Mitigación:

Estas medidas básicamente tienen como objetivo principal controlar o mermar los efectos que producen los huaycos, para la protección de las zonas de deyección que generalmente son las comunidades cercanas a las quebradas activas. Y los cuales pueden ser:

a. Muros de Mampostería en Piedra:

Los Muros de mampostería (piedra seca), sirven para frenar la velocidad del agua y a la vez conseguir condiciones favorables para el establecimiento de la vegetación permanente o defender zonas críticas en donde no cabe ningún otro sistema de protección.

Martínez (1990,1992) da una interpretación geotécnica a la roca, como el elemento de los muros "Tipo Peruano", pircas o *pircas* que sirvieron para desarrollar la ingeniería del antiguo Perú.

En las rocas, las diaclasas o fracturas propias de su origen presentan caras planas y llanas con diversas formas, desde un paralelepípedo hasta un cubo. Por lo tanto, sería las más adecuadas para ser empleadas la construcción de muro de mampostería en piedra o también llamados pircas.

Para la construcción es necesario la pirca seca sin mortero, que es altamente permeable por estar formada por bloques y fragmentos de rocas que dejan espacios vacíos del orden de 10% al 30 % en las mejores construidas. Estos conductos funcionan como drenes impidiendo la formación de presión por acumulación de agua en su lado posterior.

Las pircas se comportan como elemento sísmico. Durante el movimiento de la energía que transmite la onda sísmica es absorbida por las fuerzas de fricción generadas entre las caras de los bloques de los muros cuando entran en contacto. Esta es la razón por las que no han fallado en comparación de los muros de concreto de mayor superficie de fricción.

De acuerdo a las consideraciones y resultados de estudios anteriores, se deben evaluar las propuestas con alturas (0.5 a 10 m).

Según Martínez (1991), para la metodología del análisis, se evalúan los factores de seguridad para estabilidad de muros y que son:

- Hidrostático FSH \geq 1.00

$$FSH = \frac{d(G_s - 1) \times \cos \beta - \left\{ 0,25 \times \frac{V^2}{g} \right\} \times \cos \alpha \times \tan \phi}{\left\{ 0,25 \times \frac{V^2}{g} \right\} \times \sin \alpha + d(G_s - 1) \times \sin \beta} \geq 1$$

- Sísmico FSH \geq 1.50

- Deslizamiento FSD \geq 2.00

$$FSH = \frac{f(B_1 + B_2) \times G_s}{K_A \gamma_r \times H_e} \geq 2$$

- Por volteo FSV \geq 3.00

Momento Resistente (M_r) > Momento de Volteo (M_y)

$$FSV = \frac{M_R}{M_v} \geq 3$$

En los cálculos que se consideran los más importantes son:

- V = velocidad de Flujo del río y/o aluvión = 4 a 8 m/seg.
- G = Aceleración de la gravedad = 9.81 m/seg²
- G_s = Peso específico de la granodiorita = 2.6 a 2.9 ton/m³
- Φ = Angulo de fricción interna = 20° a 45°
- β = Talud del parámetro = 5.72° a 14° (1/n: 1/10 a 1/4)
- α = Dirección del flujo con respecto a la normal del talud = 3.28° a 76°
- D = Diámetro medio de la roca = 0.30 a 2.00 m.
- K_a = tg² (45° - Φ /2), coeficiente de empuje activo = 0.22 a 3.04.
- F = Coeficiente de fricción en la base del muro = tg Φ = 0.36 a 0.83.
- E = Empuje activo del relleno.
- γ_r = Peso volumétrico del relleno = 1.6 a 1.8 t/m³
- γ_p = Peso volumétrico de pirca = 1.58 a 1.64 t/m³ (sedimento de roca)

b. Diques de regulación en el cauce del Huayco:

Los diques de regulación en el cauce son útiles para retener los sólidos que arrastra el flujo aluvional, disminuyendo la masa y velocidad del flujo huayco, al impedir la erosión de fondo del cauce.

Pueden ser construidos albañilería de piedra con solo un 5% en volumen de mortero añadido al volumen total, de esta manera se puede mejorar la resistencia y durabilidad.

Disponen de un vertedero central para evitar socavación lateral de los apoyos en la sección. Es recomendable construir los diques separados cada 25 o 50 metros, dependiendo el grado de riesgo que presenta la zona.

c. Dique de control de cárcavas:

Los diques son barreras que cruzan un curso de agua, para controlar el nivel y velocidad del agua. De esta manera resiste el desgaste del fondo de las quebradas por efecto del arrastre ejercido por el agua. Además de retener los sólidos del material que cae por la torrentera.

No es necesario emplear mortero como cementante de los bloques de rocas para la construcción de estas estructuras, lo que es importante es controlar los tamaños de roca a emplearse debiendo tener medidas aproximadas de 0.70 m en la base y de 0.3 en la corona.

La sección transversal del muro de control debe contemplar talud aguas abajo, se debería suavizar el talud antes de la construcción. Así, se evitará su desmoronamiento y se favorecerá su estabilidad y la de los diques a construir. Se recomienda que la inclinación de dar al talud sea de 2:3.

El dique además contendrá un vertedero que orientará el flujo y elementos de protección de la base para evitar la erosión que se produciría por la caída del agua desde el vertedero. Se recomienda que el largo del vertedero sea de 2 m. y un alto de 0.5 m.

La separación entre diques recomendable es de 50 m.

d. Barreras Dinámicas

Esta es una alternativa nueva, que viene siendo estudiada y ya fue aplicado en países europeos. Aquí en Sudamérica fue presentada en el Curso de Patología Geotécnica en el 2009 por el ingeniero Javier Gonzales Gallego. Y aunque quizás no pueda ser utilizada, más aún debe ser mencionada dentro de las medidas de mitigación contra efectos del huayco.

La barrera dinámica es el sistema de protección contra la caída de rocas, constituido por un obstáculo que se interpone a las posibles trayectorias de los desprendimientos, deteniendo los bloques y transformando la energía cinética que llevan dichos

bloques en descenso, en un trabajo de deformación, sin que se produzcan importantes deterioros en la misma y acumulando los materiales componentes del desprendimiento.

Las obras de protección de este tipo, se diseñan para soportar impactos de rocas de diferentes pesos, volúmenes, formas y velocidades. En general, estas estructuras han de ser diseñadas para soportar fuertes choques, en intervalos de tiempo muy pequeños.

Las rocas pequeñas que caen a gran velocidad, pueden causar efectos de similar magnitud, a los que ocasionan grandes bloques a pequeña velocidad. El proceso de detención de las rocas se produce por transformación de energía cinética en trabajo de deformación por elongación y desplazamiento de los componentes de la barrera dinámica.

Las partes básicas que constituyen estos sistemas son:

- Estructura de intercepción: el cual tiene la función de soportar el impacto directo de la masa, deformándose elástica y/o plásticamente, y transmitiendo los esfuerzos a través de los elementos de conexión, a la estructura de soporte y la cimentación.
- Estructura de soporte: Tiene la función de mantener en pie la estructura de intercepción, la cual no es rígida por naturaleza. Estará unida de forma directa a la estructura de intercepción o mediante elementos de conexión.
- Elementos de conexión: tienen como función transmitir los esfuerzos a la cimentación.

Para controlar la deformación se colocarán elementos dentro de la estructura.

Aunque la normativa internacional, la cimentación no se considera parte de la barrera, sin embargo, para su diseño se han de tener en cuenta las solicitaciones, que ha de transmitir al suelo. En función del tipo de terreno en que se prevé realice la instalación, se podrá realizar una cimentación directa al terreno, mediante barras de anclaje y micro pilotes, mientras que el caso en que la instalación se realice sobre suelo o materiales sueltos, se deberá ejecutar un dado de reparto, de hormigón.

2.6.2 Medidas alternativas para la Prevención:

Son alternativas que se pueden establecer para la protección de los conos de deyección antes que ocurra el huayco. Se toma el problema de raíz antes que comience a dejar los estragos que ocasiona. Y son los siguientes mecanismos:

a. Andenes:

Conjuntos de terrazas escalonadas construidas en las laderas de las montañas y rellenas con tierra de cultivo. Son los rasgos más típicos del paisaje alto andino.

Las terrazas con superficies horizontales sostenidas por muros fueron hechas para estabilizar taludes, reducir pendientes, disminuir la velocidad del flujo de las aguas a un régimen no erosivo.

Por estos propósitos mencionados es posible que se pueda usar para tratar evitar la venida de un huayco, en este caso los andes tendrían como material más adecuado para la construcción las rocas bien cimentadas, que proporcionarían mayor estabilidad a las laderas.

b. Métodos mecánicos de drenaje:

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.

Los drenes, al interceptar las quebradas, producen un escalonado, que actúa como disipador de energía del agua, al producirse el choque, con el consiguiente cambio en la dirección del movimiento. Tratándose de la parte superior de la quebrada, el caudal ha sido incrementado por la influencia de nuevas áreas, lo que conllevaría a un nuevo perfil del equilibrio para la misma.

(PRONAMACHCS, 1997) recomienda aplicar esta práctica en zonas climáticas semiáridas a sub húmedas; o en zonas húmedas con estaciones cerca marcadas; en pendientes de terreno cerca de los 30% de inclinación; en suelos con textura francas o moderadamente arcillosas, con buena permeabilidad.

Esta práctica se debería aplicar en terrenos susceptibles a deslizamientos.

(Ho,1991) afirma que las zanjas de infiltración se adaptan de baja o moderada precipitación, la que generalmente no excede de 800 mm anuales. Posibilita además una zona de recarga o “producción de agua” en beneficio de las zonas media y baja, lugares como en consecuencia se incrementan los manantiales o puquiales, tanto en número o como volumen de escurrimiento.

c. Reforestación:

Esta medida implica un ordenamiento y planificación de las especies más adecuadas en relación a factores como actividad, suelos, precipitaciones, accesibilidad y labor de protección, manejo y aprovechamiento del suelo.

La siembra árboles y arbustos proporcionan estabilidad al suelo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Información Cartográfica:

Los planos cartográficos utilizados fueron 19-q, 19-r, 20-q y 20-r con escala 1/5000, que pertenecen al distrito Lurigancho – Chosica donde se encuentra el área de estudio y fueron obtenidos del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

3.1.2 Información Geológica

El mapa geológico de la zona de estudio fue obtenido de los planos geológicos elaborados por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) en escala de 1/100000.

3.1.3 Información Pluviométrica:

Los datos de precipitaciones fueron obtenidos de la estación meteorológica “Santa Eulalia” del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), y fue seleccionada por las siguientes características: ubicación cerca de la zona de estudio y mayor cantidad de registros anuales completos de precipitación, en comparación a otras Estaciones, ubicadas cerca de la zona de estudio.

3.1.6 Equipos:

- Laptop
- Programas: Arcgis, AutoCAD Civil
- Materiales de escritorio.

3.2 MÉTODOS

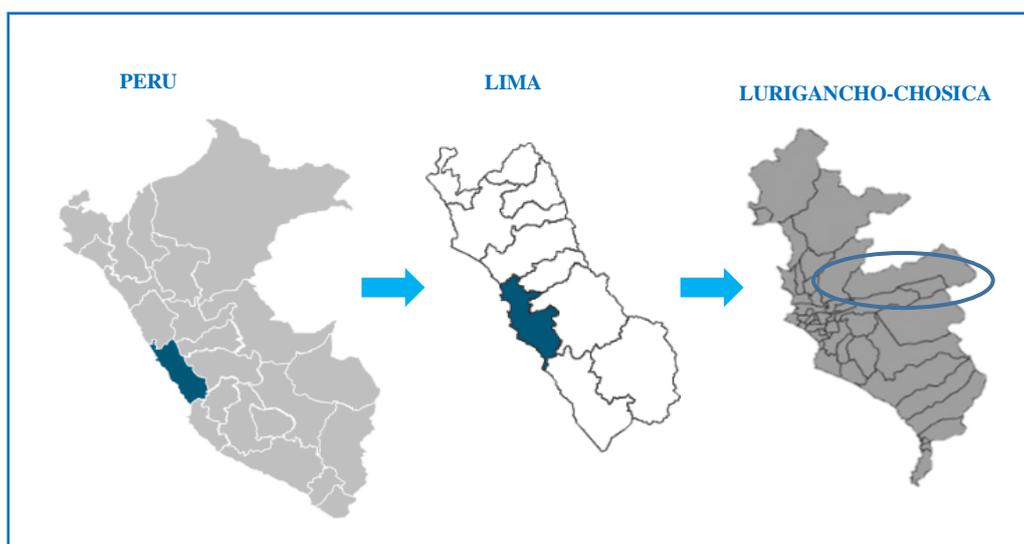
3.2.1 Descripción de la Zona de Estudio

a) Ubicación

Políticamente, el área de estudio corresponde a la micro cuenca formada por la quebrada Cantuta II, localizada en sub cuenca Inter Cuenca Medio Bajo Rímac de la Cuenca del río Rímac, dentro del distrito de Lurigancho-Chosica, provincia Lima, departamento de Lima.

Geográficamente, la quebrada en estudio está delimitada por un extremo superior en las coordenadas 8 678 908.96 N, 315 267.86 E, a 835 msnm y por un extremo inferior 8 678 980.02 N, 314 856.78 E, a 833 msnm.

Figura 11: Localización de la zona de estudio a nivel de distritos



En el plano P- 1 del Anexo 4 se muestra a detalle la ubicación del proyecto.

b) Vía de Acceso

La vía de acceso al área de estudio, desde la ciudad de Lima se toma como punto de referencia el puente Santa Anita y se parte por la vía terrestre de la carretera central hasta la altura del km 34, en el paradero La Cantuta. El tiempo aproximado de viaje es 2 horas.

3.2.2 Recopilación de información

- Antecedentes del Estudio

Los huaycos ocurridos en los distritos de Chosica y Chaclacayo han sido registrados en los años 1909, 1915, 1925, 1926, 1936, 1939, 1950, 1952, 1954, 1955, 1959, 1967, 1972, 1976, 1983, 1985, 1987, 1988, 1998 y 2012. Los más catastróficos ocurrieron en los años 1925, 1926 y 1987, en paralelo al Fenómeno del Niño.

Estos huaycos han afectado significativamente a la Universidad Cantuta, principalmente aquellos de los años 1998 y 2012, tal como se describe a continuación:

Tabla 5: Registro de los últimos Huaycos que afectaron directamente a la UNE

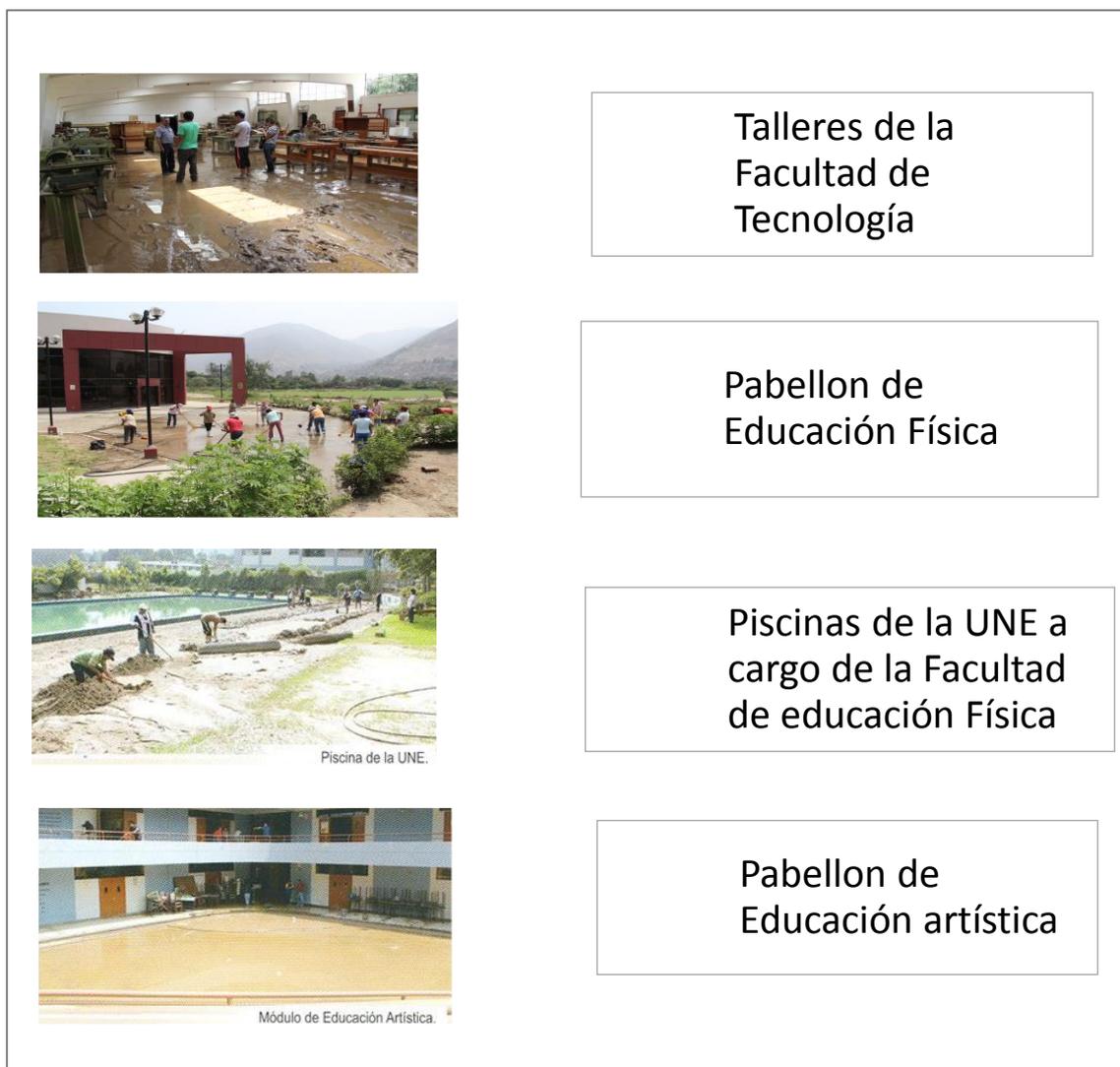
Año	Descripción del evento
1998	El huayco ocurrido en la quebrada Santo Domingo en 1998 ocasionó daños indirectamente a la Universidad Cantuta. Ante dicho evento, las autoridades de la Cantuta gestionaron la ejecución del encauzamiento de la quebrada Santo Domingo, alcanzando hasta 10 m de profundidad. En esta actividad participaron las siguientes entidades: CTAR Lima, CTAR Callao, las Municipalidades distritales de Lurigancho y Chosica, la Municipalidad provincial de Lima, ministerio de la Presidencia y el ejército peruano.
2012	El día jueves 5 de abril de 2012, a las 17:30 horas una intensa lluvia de más de 3 horas, focalizada en el distrito de Chosica, activó 11 quebradas desencadenando la avenida de flujos de lodo, barro con rocas en laderas y cárcavas de cerros, entre los kilómetros 27 y 42 de la Carretera Central, ocasionando daños diversos a las urbanizaciones aledañas y a la Universidad Cantuta. Esta entidad fue afectada por dos huaycos de las quebradas Santo Domingo y Cantuta II. El primer huayco recorrió el cauce construido en la quebrada Santo Domingo en 1998, sin embargo, éste se desbordó y afectó a las instalaciones de la Universidad Cantuta, inundando la vía férrea y la avenida cercana a dicha universidad. El segundo huayco descendió por la quebrada Cantuta II hasta desembocar dentro de las instalaciones de la Cantuta, afectando a la facultad de Educación Física, Tecnología entre otros.
2015	El 23 de Marzo del 2015, después de intensas lluvias se produjeron 13 huaycos que generaron perdidas económicas de más 200 millones de soles, dejando 9 muertos y 6 desaparecidos (Comercio, 2015). Ese año también se activaron las quebradas Santo Domingo y Cantuta II afectando nuevamente a la universidad.

FUENTE: Propia

En comparación con la quebrada Santo Domingo, el área de la quebrada Cantuta II es un 70 por ciento menor que la primera, sin embargo, no deja afectar a la Universidad La Cantuta de forma directa y por el momento no presenta ningún estudio para mitigar efectos del flujo de escombros ocasionado por la activación de la quebrada.

A continuación, se muestran imágenes de la afectación a la Universidad Cantuta debido a los huaycos registrados en el 2012:

Figura 12: Secuelas de la inundación del año 2012 en los diferentes ambientes de la UNE.



FUENTE: *Oficina de Imagen Institucional de la UNE*

La universidad durante los meses de diciembre a abril es afectada por intensas lluvias que origina que se active las quebradas Santo Domingo y Cantuta II. Existe el riesgo constante que este exceso de precipitaciones genere que el desbordamiento del cauce de la quebrada Santo Domingo hacia los alrededores, aunque la quebrada Cantuta II es un peligro porque el recorrido final del flujo de lodo y escombros se encuentra dentro de la universidad.

3.2.2 Caracterización de la Quebrada Cantuta II

La zona de estudio corresponde a la quebrada Cantuta II, y esta tiene como cono de deyección situada dentro de las instalaciones de la Universidad Nacional de Educación La Cantuta.

3.2.2.1 Topografía:

La información topográfica de la zona de estudio se obtuvo de los planos del distrito de Lurigancho-Chosica, elaborado por el IGN, en los cuales se muestran las curvas topográficas y edificaciones de la zona de estudio.

a. Digitalización de Curvas

Los planos fueron escaneados, para trabajarlos en el programa Photoshop, donde se cambió el color de presentación (a colores blanco y negro) para realizar las líneas de contorno y comenzar con la digitalización de todas las curvas de nivel de la quebrada Cantuta II y los cauces del torrente de agua en el programa ArcGIS (ver el plano P-1 del Anexo 4 de Planos).

b. Delimitación de la Quebrada:

Las curvas de nivel de la quebrada Cantuta II fueron la herramienta principal para delimitar la micro cuenca que forma esta quebrada, en el programa ArcGIS

3.2.2.2 Geología- Geotecnia y Geomorfología

La información de geología y geotecnia de la zona de estudio se obtuvo de estudios cercanos a la zona de investigación y los mapas geológicos de la zona de Chosica, elaborados por el INGEMMET (ver el plano P-3 del Anexo 4 de Planos).

La información de geomorfología de la quebrada Canuta II se obtuvo de la visita a campo a la zona de estudio.

3.2.2.3 Hidrología

La información hidrológica de la zona de estudio se pudo obtener de 03 estaciones meteorológicas: Chosica, la Cantuta y Santa Eulalia. La primera estación cuenta con registros desde 1989 hasta 2015 pero con meses incompletos en 4 años, la segunda estación ubicada en la zona de estudio cuenta con data desde 2009 al 2015 está ya no es operada por SENAMHI y solo la universidad se encarga de obtener los registros eventualmente. La última estación cuenta con mayor cantidad de registros pluviométricos completos y se encuentra en funcionamiento, motivos por los cuales fue seleccionada como fuente de información para el presente estudio.

La data pluviométrica de la Estación Santa Eulalia fue registrada por el SENAMHI durante el periodo de 1964-2014. Con esta información se determinaron las precipitaciones máximas en 24 horas mensuales (ver Tabla 17. Anexo 1 de Hidrología), permitieron estimar los caudales máximos para diferentes tiempos de retorno, objetivo principal del estudio hidrológico de la zona de estudio. El caudal seleccionado será de acuerdo al periodo de retorno para el evento más extremo, y que será usado en el diseño de mecanismos para mitigar efectos del huayco en la quebrada Cantuta II.

Con la información de precipitaciones máximas en 24 horas, se prosiguió con el análisis de la data, tal como se describe a continuación:

a. Análisis de *datos dudosos* para las precipitaciones máximas en 24 horas:

El análisis consistió en la detección de datos anómalos en series de precipitaciones máximas para periodos de 24 horas, empleando el método de Walter Resources Council. Este método se basa en la realización de ajustes de datos dudosos (outliers), porque son puntos de la información alejados significativamente de la tendencia de la información restante (ver Tabla 18. Anexo 1 de Hidrología).

b. Distribución de Probabilidades

Los datos de precipitaciones se emplearon para realizar pruebas de distribución: Gumbel, Pearson, Normal, Log-Normal, Pearson tipo III y Log- Pearson de Tipo III (ver Tabla 19. Anexo 1 de Hidrología).

c. Prueba de Bondad de Ajuste de Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas:

La prueba de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (distribución Gumbel, Pearson, Normal, Log-Normal, Log- Pearson de Tipo III) se utilizó para comparar la diferencia existente entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica, con el propósito de obtener el mejor ajuste de todas las distribuciones (ver Tabla 20. Anexo 1 de Hidrología).

d. Ajuste de Precipitación Máxima Anuales en 24 horas ($P_{máx}$)

El mejor ajuste de las distribuciones fue seleccionado para ser evaluado en todos los periodos de retornos de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200, 300, 500 y 1000 años, optando por afectar a las precipitaciones de cada periodo de retorno por 1.13, valor recomendado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para su

conversión en precipitaciones máxima en 24 horas. (ver Tabla 21. Anexo 1 de Hidrología).

e. Coeficiente de Distribución Regional

Los coeficientes de distribución regional de la zona de estudio se determinaron empleando la metodología propuesta en el estudio Hidrología del Perú, realizado por el convenio IILA-SENAMHI-UNI en 1983. Estos coeficientes permitieron distribuir las precipitaciones máximas de 24 horas, corregidas para diferentes tiempos menores a 24 horas.

Las expresiones que plantea el estudio son las siguientes:

$$P_{t,T} = a(1 + K \log T)t^n$$
$$I_{t,T} = a(1 + K \log T)t^{n-1}$$

Donde:

P_{t,T}: precipitación de tormenta para una duración “t” (en horas), en un período de retorno “T” (en años).

I_{t,T}: intensidad de tormenta para una duración “t” (en horas), en un período de retorno “T” (en años),

K, n y a: constantes regionales

Según la metodología empleada por el IILA, las ecuaciones anteriores son válidas para $3 \leq t \leq 24$ horas, y para $t \leq 3$ horas se propone la siguiente ecuación:

$$I_{t,T} = a(1 + K \log T)(t + b)^{n-1}$$

Para la zona de estudio, se empleará el parámetro $b = 0,5$ horas (para la costa, centro; ver Norma Técnica O.S. 060. Drenaje Pluvial Urbano - Anexo N°1 Hidrología Tabla 2.a, 3.a y 3.b).

Se obtuvo la región hidrológica del mapa de Subdivisión del territorio en zonas y subzonas pluviométricas del Perú (ver Gráfico 7. Anexo 1 de Hidrología).

f. Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)

Los coeficientes regionales de distribución de la precipitación máxima en 24 horas ILA se usaron en reemplazo de los datos, debido a que no se dispone de registros pluviográficos que permitan obtener las intensidades de lluvias máximas para diferentes duraciones de lluvia y periodos de retorno.

El dato de lluvias máximas se empleó para graficar las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (Curva IDF) y calcular la ecuación de intensidad en función del tiempo de retorno y la duración de la tormenta mediante regresión múltiple. La curva de Intensidad – Duración – Frecuencia resultante en la zona de estudio es la siguiente:

$$I = \frac{10^k T^m}{t^n}$$

Dónde:

I =	Intensidad máxima, en (mm/h)
T =	Periodo de retorno (años)
t =	Duración de precipitación (min)

g. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración fue obtenido mediante la fórmula propuesta por Kirpich, la cual relaciona la longitud máxima de salida con la pendiente de la superficie para obtener el tiempo de concentración, tal como se muestra a continuación.

$$tc = \frac{0.06628.L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

h. Caudal de diseño

Para la estimación del caudal se utilizó el método racional ya que se tiene referencias para áreas pequeñas es recomendable su uso. A continuación, se muestra la ecuación en uso:

$$Q = \frac{CIA}{3.6}$$

Q =	Caudal (m ³ /s)
I =	Intensidad máxima (mm/h)
A =	Área de drenaje (km ²)
C =	Coefficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía (C) varía según las características de la superficie y el periodo de retorno, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6. Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional.

Características de la Superficie	Periodo de Retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Concreto/techo	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano 0-2%	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
Promedio 2-7%	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Pendiente superior a 7%	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)							
Plano 0-2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Promedio 2-7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente superior a 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Condición buena (cubierta de pasto de 75% del área)							
Plano 0-2%	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Promedio 2-7%	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
Pendiente superior a 7%	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano 0-2%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Promedio 2-7%	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Pendiente superior a 7%	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pastizales							
Plano 0-2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Promedio 2-7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente superior a 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Bosques							
Plano 0-2%	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Promedio 2-7%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Pendiente superior a 7%	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

3.2.3 Hidráulica de Flujo de Escombros

La hidráulica de flujo de escombros estudia a detalle las avenidas torrenciales, que permitió determinar parámetros característicos del flujo, tales como: caudal total, volumen de escombros, densidad del flujo y velocidad del flujo.

Se prosiguió a los siguientes pasos:

a. Concentración de Sedimentos (C_v)

Indica el comportamiento del flujo, fue calculado siguiendo los lineamientos de la clasificación propuesta por O'Brien y Julien (1988) y seleccionado de acuerdo a las características visuales del flujo (ver Tabla 15. Capítulo V. Resultados).

b. Volumen de Agua

El volumen de agua del flujo fue estimado mediante el producto del caudal de agua seleccionado para un tiempo de retorno escogido de acuerdo al tiempo de concentración.

$$V_a = Q * T_c$$

Donde:

Q: Caudal de agua (m^3/s):

T_c : Tiempo de concentración (s)

c. Volumen de Sedimentos

El volumen de sedimentos fue estimado mediante el valor de la concentración de sedimentos, porque es la ecuación que representa la relación entre el volumen de sedimentos y el volumen de agua más el volumen del sedimento, tal como se muestra a continuación: Y al final se volvió una ecuación simple siendo nuestra variable el volumen de sedimentos. Tal como muestra a continuación:

$$C_v = \frac{V_s}{V_s + V_a} \qquad \frac{C_v V_a}{1 - C_v} = V_s$$

Donde:

V_s : Volumen de sedimentos (m^3)

V_a : Volumen de agua (m^3)

d. Cálculo del caudal total de flujo

El caudal total de flujo fue aproximado empleando el método de JICA, basado en los desarrollos de Takahashi (1978,1981) para determinar el caudal máximo de la corriente de detritos mediante la siguiente expresión.

$$Q_d = Q_d P = Q_0 \frac{C^*}{C^* - C_d}$$

Donde:

Q_d : Caudal máximo del flujo de detritos

Q_0 : Caudal máximo líquido

C_d : Concentración volumétrica de sólidos

C^* : Concentración máxima de los sólidos.

e. Densidad del flujo

Para la estimación de la densidad de flujo se utilizó una variación de la fórmula para cálculo de caudales propuesta por Takahashi, porque esta ecuación utiliza dentro de sus variables a la densidad de flujo. Por consiguiente, una vez obtenida el caudal de máximo de flujo de detritos, resulta sencillo calcular la densidad del flujo. A continuación, se muestra la fórmula utilizada.

$$Q_t = \left[\left(1 + \frac{V_s}{V_a} \right) + \frac{(\rho - 1)}{(\sigma - \rho)} \right] * Q_l$$

Donde:

Q_t : Caudal total o caudal máximo de flujo de detritos

V_s : Volumen de detritos (m^3)

V_a : Volumen del agua (m^3)

ρ : Densidad del fluido de detritos (t/m^3)

σ : Densidad del sedimento (t/m^3)

Q_l : Caudal líquido (m^3/s)

f. Velocidad del flujo

La velocidad de flujo fue estimada empleando la fórmula propuesta por Costa (1984), porque relaciona el cálculo de velocidad del flujo de escombros en función del caudal (Q) y la pendiente (S). La fórmula se muestra a continuación:

$$V = 2.11 * Q^{0.33} * S^{0.33}$$

Donde:

V: Velocidad (m/s)

Q: Caudal de flujo de detritos (m³/s)

S: Pendiente.

3.2.4 EVALUACIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS ADECUADA PARA ESTABILIZACIÓN DE LA QUEBRADA

Los mecanismos empleados comúnmente para la estabilización geomorfológica de las quebradas, serán nombrados a continuación:

- Muros de Piedra

Los muros de piedra actúan como los muros de contención que se utilizan para detener masas de tierra u otros materiales sueltos, en escenarios donde las condiciones no permiten que estas masas asuman sus pendientes naturales, su estabilidad la deben fundamentalmente al peso propio y al peso del material que está sobre su fundación. Por ello son comúnmente utilizados para la estabilización de taludes en una quebrada.

En la actualidad en las quebradas de Chosica se realiza con frecuencia la construcción de muros de concreto armado la cual representa un costo elevado.

Diques de Piedra

Los muros o diques de piedra, este último título será adecuado para nombrar este mecanismo porque los diques son utilizados para contener agua, aunque en este caso sería una mezcla de agua y escombros. Su función será disminuir la velocidad de flujo de lodo, actuando como una barrera de protección retener las piedras que puedan

deslizarse, un componente de los huaycos y principal responsable del daño que ocasiona este evento.

Esta alternativa requiere de un mantenimiento constante, evitando la colmatación de piedras y arenas de eventos pasados.

Una alternativa a los muros de concreto, podría ser el uso de muros o diques de piedra, porque son de construcción rápida y adecuada para la zona de Chosica porque el material se encuentra presente en las mismas quebradas.

- Sistemas de drenaje

El agua cuando se encuentra estancada provoca el ablandamiento por saturación del suelo, y está en movimiento presenta el fenómeno de la erosión, hacen que ella sea la causa principal del mayor parte de las fallas, deslizamientos, avalanchas y huaycos en las quebradas.

Los sistemas de drenaje permiten recolectar y derivar el agua superficial, proveniente principalmente de las precipitaciones, logrando disminuir los efectos de erosión sobre el suelo.

Es por esta razón que es necesario establecer sistemas de drenajes para acopiarlas y eliminarlas. Como se sabe en el agua drenada proviene principalmente de las precipitaciones tal como sucede en la ciudad de Chosica, pero en realidad lo que ocasiona es la cantidad que puede precipitar en la zona en un corto intervalo de tiempo; motivo por el cual se llegan activar las quebradas del lugar.

El sistema de drenaje puede estar conformado por terrazas de drenaje o canales de recolección de acuerdo a la zona de aplicación.

Esta alternativa hace frente al problema de raíz que se presenta en los huaycos, porque trata de evitar la erosión de suelo que es la principal causa que provoca los deslizamientos de las rocas. Las zanjas de recolección es preferible construirlas en la parte alta o cuenca de recepción de la quebrada y permitirá canalizar la precipitación excesiva hacia el eje de la quebrada, de esta manera se logra que ya no erosione en el resto del área de la quebrada evitando deslizamientos de rocas que es lo que más daño causa y solo escurrir el agua al largo del cauce de la quebrada.

- Andenes

Son un conjunto de terrazas con superficies horizontales rellenas con tierra de cultivo, sostenidas por muros que fueron hechas para estabilizar taludes, reducir pendientes, disminuir la velocidad del flujo de aguas a un régimen no erosivo. Son rasgos típicos del paisaje alto andino.

Si bien es cierto la construcción de los andenes es un buen método de estabilidad de taludes lo cual resulta útil para mitigar las venidas de huaycos también se sabe que es características en la zona andina del país, porque generalmente en las superficies horizontales eran utilizadas para el sembrío de diferentes especies. Pero en la zona de Chosica sería complicado aplicarlo por ser una zona costera desértica donde escasea el agua.

- Reforestación:

La reforestación es una medida más barata y fácil para la protección de erosión en los suelos, siempre y cuando se realice con plantas nativas de la zona.

Estas prácticas de reforestación, se emplean en terrenos con pendientes pronunciadas donde el objetivo es captar e infiltrar el agua de lluvia uniformemente y a la vez controlar la erosión; ello es igualmente válido para zonas áridas y semiáridas. Para tales condiciones, tanto en el Perú como en otras partes del mundo, plantar al lado de zanjales o canales en curvas de nivel tiene varias ventajas.

Esta alternativa casi siempre debe ser tomada en cuenta porque como se menciona tiene como principal función la infiltración de las precipitaciones, pero se debe realizar de manera adecuada siempre plantando especies de la zona y no incluyendo a otras diferentes que a la larga puede perjudicar a la flora nativa del lugar. En el caso de la quebrada Cantuta II no es posible la reforestación por ser un lugar de escasea agua, porque no cuenta con canales para transportar agua a esta zona de la quebrada, por lo que solo habría agua en épocas de lluvia que no sería suficiente para el crecimiento continuo de la plantas y terminarían marchitándose.

3.2.5 Selección de la Alternativa Adecuada

Teniendo en cuenta estas características de cada alternativa, y también considerando las condiciones de zona y el uso que se da en ella, se seleccionó más de una alternativa o alternativa mixta, las cuales son:

1. Zanjas de drenaje: Estas serán construidas en la parte media a alta de la quebrada, para el acopio de las precipitaciones excesivas producidas en un evento y conducidas hacia el cauce principal de la quebrada, desde esta manera se pretende solo conducir lodo y no piedras para que siga su recorrido hasta que llegue al río.
2. Diques de Piedra: La construcción de los diques de piedra se realizara en la parte media a baja de la quebrada para soportar algunas gravas y rocas que puedan deslizarse en el momento del evento, en caso de que las zanjas no función efectivamente por alguno motivo.

Como se indica las zanjas conducirán el agua por el cauce de la quebrada y para protegerla de la erosión se colocara un enrocado en forma de camas en ciertos tramos del lecho. El principio que maneja este mecanismo es hacer que el agua se detenga un momento para pasar por encima de las camas logrando disminuir su energía y velocidad.

3.2.6 Diseño de la Alternativa Elegida.

Para el diseño de la alternativa mixta como se señaló se procederá de la siguiente manera:

3.2.6.1 Diseño de la Zanja de infiltración:

Vásquez (2012) señala que las zanjas de infiltración tiene el fin de captar agua de escurrimiento superficial proveniente de agua de lluvia, facilitar su infiltración y controlar la erosión de suelos, esta medida es recomendable para cuencas andinas. Las zanjas son construidas de forma transversal a la pendiente misma del terreno, y las características hidráulicas promedio para la sierra peruana son:

- Pendiente longitudinal cero
- Ancho de base inferior entre 30 y 50 cm
- Ancho de bordo superior entre 40 – 70 cm

- Profundidad de zanja entre 30 y 50 cm.

Como se menciona las zanjas de infiltración muestra resultados satisfactorios en la sierra peruana y son diseñadas para soportar precipitaciones que en promedio entre los 400 a 1400 mm/año. Pero el fin de la construcción de zanjas para el presente estudio es otro, porque más que infiltrar tendrá la función de recolectar las precipitaciones y conducir las al lecho de quebrada, debido al tipo de suelo que presenta la costa peruana, la infiltración es limitada y va en un promedio de 4 a 8 % del total de agua transitada.

Por este motivo de las medidas recomendadas se tomarán otras de menor tamaño los cuales son:

- Ancho de base inferior entre 30 a 40 cm
- Altura promedio entre 20 a 30 cm.
- Paredes Laterales con talud de 3:1

Para el trazo se tomará de referencia las curvas de nivel de la quebrada de esta manera llegamos al cauce de la quebrada que conducirá todo el torrente.

3.2.6.2 Diseño de los Diques de Piedra: Los diques serán construidos en la parte media a baja del cauce principal de la quebrada, para su construcción se empleará rocas de la zona que serán colocadas manualmente que formarán un trapecio. El diseño de los diques se empezará como se describe a continuación:

Dimensionamiento

Como se mencionó anteriormente los diques de piedra tendrán los principios de los muros de contención, para el diseño se procederá con el cálculo de las dimensiones que deben cumplir con factores de seguridad, se realizó de acuerdo a las recomendaciones indicadas en el Capítulo 1 y 6 del Manual de Carreteras, Túneles, Muros y Obras Complementarias - Volumen II del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

El dimensionamiento de un muro (dique) consiste en la definición preliminar de su geometría y de sus dimensiones mínimas, a partir del cual se realiza el estudio de estabilidad.

En general, el procedimiento para el dimensionamiento es esencialmente de tanteos. Se suponen dimensiones provisionales antes de poder investigar la estabilidad o la resistencia estructural, para lo cual se pueden adoptar los

criterios comentados a partir de las dimensiones inicialmente definidas, se realiza un cálculo de estabilidad de la estructura, que dependiendo del tipo de muro puede ser tanto externa como interna. En función de los resultados obtenidos, se evalúa la necesidad de modificar algunas de las dimensiones, antes de obtener un proyecto satisfactorio.

En este sentido, los factores que más influyen en la definición geométrica de un muro de contención son los siguientes:

- Tipo y altura del muro.
- Magnitud del empuje.
- Existencia de sobrecargas.
- Inclinación del relleno del trasdós.
- Calidad del terreno de cimentación.

Para dimensionar apropiadamente un muro, es necesario conocer los parámetros básicos del suelo (peso específico volumétrico, ángulo de fricción interna y cohesión) retenidos detrás del muro y del suelo debajo de la base. Conocer las propiedades del suelo detrás del muro permite determinar la distribución de la presión lateral necesaria para el diseño.

Una vez obtenido los parámetros anteriores y previamente tomando medidas provisionales del muro se realiza el cálculo de estabilidad tal como indica a continuación:

- Deslizamiento : La componente horizontal del empuje de la tierra debe ser resistida por las fuerzas de roce entre el suelo y la base del muro. La relación entre las fuerzas resistentes y las actuantes o deslizantes (empuje), se conoce como factor de seguridad al deslizamiento FS_d , esta relación debe ser mayor de 1.5.

$$FS_d = \frac{F_r}{E_h} \geq 1.5$$

$$F_r = \mu(R_v + E_v) + c' \cdot B + E_p$$

$$\mu = \tan \delta$$

$$c' = (0.5 \text{ a } 0.7) \cdot c$$

Donde, F_r es la fuerza de roce, E_h es el componente horizontal del empuje, R_v es la resultante de las fuerzas verticales, E_v es la componente vertical del empuje, B es el ancho de la base del muro, c' es el coeficiente de cohesión corregido o modificado, c es el coeficiente de cohesión del suelo de fundación, E_p es el empuje pasivo (si el suelo de la puntera es removible, no se debe tomar en cuenta este empuje), δ el ángulo de fricción suelo.

- Por volteo : La relación entre los momentos estabilizantes M_e , producidos por el propio peso del muro y la masa de relleno situada sobre el talón del mismo y los momentos de volcamiento M_v , producidos por los empujes del terreno, se conoce como factor de seguridad el volcamiento FS_v , esta relación debe ser mayor de 1.5.

Momento Resistente (M_e) > Momento de Volteo (M_v)

$$FSV = \frac{M_e}{M_v} \geq 1,5$$

- Presiones de Contacto: La capacidad admisible del suelo de fundación σ_{adm} debe ser mayor que el esfuerzo de compresión máximo o presión de contacto σ_{max} transferido al terreno por el muro, para todas las combinaciones de carga.

$$\sigma_{adm} \geq \sigma_{max}$$

$$\sigma_{adm} \leq \frac{q_{ult}}{FS_{cap.portante}}$$

De los aspectos mencionados podemos decir que no se debe exceder la resistencia admisible del suelo, y la excentricidad e_x de la fuerza resultante R_v medida desde el centro de la base del muro B , no debe exceder del sexto del ancho de está.

$$e_x = \left(\frac{B}{2} - X_r \right)$$

$$X_r = \frac{M_e - M_v}{R_v}$$

X_r es la posición de la resultante medida desde el extremo inferior de la arista de la puntera del muro.

Si: $e_x \leq B/6$

$$\sigma_{max} = \frac{R_v}{B} \left(1 \pm \frac{6 \cdot e_x}{B} \right)$$

Si las medidas provisionales de los muros no cumplen con el cálculo de estabilidad se volverá a dimensionar hasta que cumpla con todos los factores de seguridad.

En la parte media de la quebrada como se mencionó en el ítem anterior se colocara enrocado cada cierto tramo del lecho de la quebrada.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se muestran teniendo en cuenta el orden propuesto en la metodología del estudio.

4.1 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA QUEBRADA

Los resultados de la caracterización de la quebrada son tales como: topografía, geología y geomorfología de la quebrada.

4.1.1 Topografía

La topografía de la zona de estudio muestra las cotas que pasan por la micro cuenca que forma la quebrada, también se definió la forma del cauce que muestra uno principal que posteriormente se bifurca en otra secundaria. Se obtuvo pendiente, longitud del cauce principal, perímetro y área de drenaje de la microcuenca que abarca, etc. Así como se muestra en la siguiente tabla las características fisiográficas de la quebrada.

Tabla 7. Parámetros Fisiográficos de la Quebrada.

CUENCA	CARACTERÍSTICAS FISIGRÁFICAS DE LA CUENCA					
	Área km ²	Perímetro km	Longitud km	Cota mínima m.s.n.m	Cota máxima m.s.n.m	Pendiente Promedio (m/m)
Cantuta 2	0.402	2.44	1.72	840.00	1280	0.307

FUENTE: Propia

El mapa topográfico se muestra en el plano P-1 en el Anexo 4 de Planos.

Luego se procedió a dividir el área de estudio en micro cuencas baja, media y alta, en función a sus pendientes, calculando el área de cada una. En la siguiente tabla se muestra los datos mencionados.

Tabla 8. Características de las sub cuenca Cantuta II.

Sub cuenca	Área (km²)	Pendiente %
ALTA	0.126	50.7
MEDIA	0.202	42.3
BAJA	0.074	27.47

FUENTE: Propia

El plano P- 2 en el Anexo 4 muestra División de las microcuencas Alta, Media y Baja.

4.1.2 Geología – Geotecnia y Geomorfología

Geología

Se identificó que la geología de acuerdo al Mapa Geológico escala 1/100000 realizado por el INGEMMET para quebrada aflora rocas intrusivas del batolito de la costa, dentro del área de estudio predomina dos tipos de unidades lito estratigráficas que se detallara a continuación:

Súper Unidad Santa Rosa. - Esta unidad es la aflora en la mayor parte de los cerros que colindan de la quebrada Cantuta II y presenta dos tipos de rocas:

- Tonalita – Dioritas (Santa Rosa Oscuro Ks-sr/tdi).- Las rocas presentan un color gris oscuro, de grano medio a grueso, destacándose la plagioclasa blanca de los minerales oscuros. Se encuentra aflorando en la parte superior al lado este de la quebrada.
- Tonalita – Granodioritas (Santo Rosa Claro Ks-sr/tgd).- Se caracteriza por su marcada coloración gris clara de grano medio, se observan minerales de plagioclasas, cuarzo, biotita y horblenda. En el área de la quebrada Cantuta II esta aflora en gran parte.

Depósitos Cuaternarios.- Bajo esta denominación se pueden incluir a los depósitos de terrazas del río Rímac, los depósitos de huayco que se encuentran en las quebradas y los depósitos coluviales (depósitos formados por gravedad) que se encuentran al pie de algunos cerros. El área ocupada por la universidad y otros asentamientos humanos, son depósitos de huayco que se formaron por disgregación de la Súper Unidad Santa Rosa.

Como se mencionó el plano geológico está en escala 1/100 000 por lo tanto es una donde no se ven detalles, y por ser pequeña la quebrada Cantuta II no se muestra la presencia de depósitos cuaternarios (depósitos aluviales) en el plano. Sin embargo en el lugar es visible

la presencia depósitos aluviales en el cauce de la quebrada por la presencia de rocas sueltas que han sido arrastradas en cada evento de huayco.

El plano P-3 se muestra el Mapa Geológico de la quebrada Cantuta II en el Anexo 4.

Geotecnia

Este fue obtenido de un estudio de proyecto de inversión de la quebrada Santo domingo que es la más cercana a la zona de estudio. Se registraron 6 calicatas estudiadas en cada una de los registros se llevó a cabo una detallada descripción de los tipos de suelos encontrados. Asimismo, se tomaron muestras disturbadas representativas, las cuales fueron identificadas y almacenadas en bolsas plásticas con la finalidad de efectuar ensayos posteriores de caracterización física y mecánica en laboratorio geotécnico.

En la tabla N°9 se presenta un resumen de las calicatas, como se puede observar la profundidad máxima alcanzada fue de 1.50 metros. En cada una de las auscultaciones se realizó un detallado registro y muestreo de los diferentes tipos de materiales existentes.

Tabla 9. Cuadro de Registros de calicatas

Código	Nivel de Agua (m)	Suelo Orgánico (m)	Nivel de Macizo rocoso (m)	Profundidad (m)
C-1	NE	0.8	NR	3.00
E-1	NE	1.0	NR	3.00
E-2	NE	0.2	NR	3.00
E-3	NE	0.4	NR	3.00
E-4	NE	0.4	NR	3.00
E-5	NE	0.3	NR	3.00
E-6	NE	0.3	NR	3.00

Abreviatur: NE: No encontrado

NR: No registrado

Df: Nivel de fundación

FUENTE: Estudio de Pre Inversión a Nivel de Perfil de la Instalación del Servicio de Protección Contra Inundaciones del Cauce de la Quebrada de Santo Domingo de la UNE

Se seleccionaron muestras alteradas representativas del suelo que debidamente identificadas se remitieron al laboratorio para los ensayos correspondientes para la identificación y clasificación de suelos.

Con las muestras extraídas en las diferentes calicatas, se realizaron ensayos estándar de clasificación de suelos y propiedades físicas.

Los ensayos se ejecutaron siguiendo las normas de la American Society For Testing and Materials (ASTM).

En la Tabla 10 se presenta un resumen de los resultados de los ensayos estándar realizados para el presente estudio.

Tabla 10. Resumen de los ensayos estándar de Clasificación de suelos

Código	Prof. (m)	SUCS	Granulometría			Límites de Atterberg		H ^o (%)	Descripción
			Grava	Arena	Fino	LL	LP		
			%	%	%				
C-1	0.80-3.00	GP	73.5	24.2	2.3	-	NP	1.12	Grava pobremente grada con arena
E-2	1.50-3.00	GC	59.7	25.5	14.8	27	19	7.59	Grava arcillosa con arena
E-4	1.00-3.00	GC	56.9	23.8	19.3	19	15	10.95	Grava arcillosa con arena

FUENTE: Estudio de Preinversión a Nivel de Perfil de la Instalación del Servicio de Protección Contra Inundaciones del Cauce de la Quebrada de Santo Domingo de la UNE

Para obtener los parámetros resistentes del suelo se realizaron ensayos de Corte Directo; dichos ensayos fueron ensayados sobre muestras remoldeadas.

Con la finalidad de determinar los parámetros de resistencia (c y ϕ), se ha previsto la ejecución de 01 ensayo de corte directo, en suelos.

Tabla 11: Resumen Ensayo de Corte Directo.

Código	Muestra	Clasificación SUCS	Angulo de Fricción ϕ (°)	Cohesión C (kg/cm ²)
E-2	M-1	GC	31	0.16

FUENTE: Estudio de Pre Inversión a Nivel de Perfil de la Instalación del Servicio de Protección Contra Inundaciones del Cauce de la Quebrada de Santo Domingo de la UNE

La capacidad de carga admisible del suelo es $Q_{adm} = 4.07 \text{ Kg/cm}^2$ considerando un factor de seguridad $F_s=3$.

Los resultado de geología y geomorfología nos confirma todo lo que se percibe visualmente en la quebrada, al verificando la existencia de depósitos coluviales en el cauce de la quebrada, la universidad forma parte del cono de deyección. El estudio de suelo nos muestra un tipo de suelo de Grava arcillosa con arena (GC), también obtenemos el ángulo de fricción, cohesión y carga admisible que serán utilizadas en para el diseño de muros de pirca.

Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos presentes en la zona de estudio son el resultado de los procesos de geodinámica externa que han modelado el relieve en base a un control litológico y estructural. Las unidades geomorfológicas más importantes son:

- **Laderas de Montañas**

Conforman el relieve montañoso donde están los afloramientos de roca basamento, con una topografía abrupta y bisectados por pequeñas quebradas tributarias de fuerte pendiente y escasa cuenca, con una escorrentía temporal, donde el mayor tiempo están secas.

- **Conos de Escombros**

Se ubican en las laderas y/o al pie de las laderas, cubriendo los afloramientos de roca basamento y ocupando las depresiones formadas por las cárcavas de la quebrada Cantuta II. Así como se muestra en las fotos del Anexo 3 de Fotografías.

- **Cauce Actual**

La quebrada presenta un cauce principal y otro secundario, pero este último generalmente no es afectado por los flujos del huayco. El cauce principal es actualmente por donde pasa la escorrentía, formando un relieve semiplano en forma casi simétrica de bordes escarpados y donde sobresalen acumulaciones de bloques que aparentemente forman un relieve semi abrupto. El cauce principal de la quebrada mide 1.73 km.

- **Conos de Deyección**

Se ubican en la parte inferior de la quebrada Cantuta II, sobre un relieve de baja pendiente, con valores entre los 10° y 20°, en forma de un abanico y con cauces no definidos, actualmente el cono de deyección de la quebrada es la UNE. En la foto 2 y 3 se observa la ruta descenso del Huayco en la Universidad en el Anexo 3 de Fotografías.

4.1.3 Hidrología

a. **Análisis de los datos Dudosos para Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas.**

La data analizada consta de 51 valores de precipitaciones máxima en 24 horas, que arrojaron como resultados a 10.59 de promedio aritmético y 9.22 desviación estándar.

También se calculó los umbrales altos y bajos obteniendo los valores de 114 y 0.4 como precipitaciones máxima y mínima aceptada. Los últimos resultados mencionados son los que nos permiten verificar si dentro de este rango existe algún tipo de *dato dudoso* en la data de precipitaciones máximas en 24 horas.

En la tabla N° 18 del Anexo 1 de Hidrología se muestra a detalle el análisis de consistencia de datos.

b. **Distribución de las Probabilidades**

Muestra como resultado las tablas y graficas de ajuste de las distribuciones Normal, Gumbel, Log-Normal, Pearson tipo III, Log- Pearson de Tipo III.

De la comparación de las gráficas se notó que las mejores distribuciones que se ajustan a la data son la Log- Pearson de tipo III y Log- Normal.

En la tabla N°19 y la graficas del 2 al 7 del Anexo de 1 de Hidrología permite visualizar las distribuciones de probabilidades.

c. **Prueba de Bondad de ajuste de precipitaciones máximas Anuales en 24 horas.**

De la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov se obtiene las ordenes de ajuste para todas las distribuciones empleadas, siendo el N° 1 Lo- Pearson de tipo III el mejor ajuste de todas.

En la Tabla N° 20 del Anexo 1 de Hidrología se muestra el cuadro de Prueba de Bondad.

d. **Ajuste de precipitación Máxima Anuales en 24 horas**

La distribución Log – Pearson tipo III fue evaluada para los diferentes periodos de retorno y posteriormente corregida con el valor de ajuste recomendado, tal como muestra el tabla N° 21 del Anexo 1 de Hidrología.

e. **Coefficientes de Distribución Regional.**

Se halló a 5a₄ como la región hidrológica de la zona de estudio, tal como se indica en grafico N° 8 del Anexo 1 de Hidrología.

Los parámetros hidrológicos se muestran en el cuadro se estimaron evaluando a 1030 msnm como altura media con la expresión que se muestra.

Tabla 12. Parámetros hidrológicos

Región Hidrológica y Parámetros		
Región hidrológica:	5a4 COSTA	$\varepsilon_g=3,8+0,0053Y$ $a=3,01-0,0025Y$ $K=0.553$
Altitud media:	Y = 1030 msnm	
Duración de lluvia diaria (Perú):	$t_g=$ 15.2 horas	
Parámetro de zona:	$e_g=$ 991 (adimensional)	
Parámetro de intensidad :	a = 0.435 mm	
Parámetro de frecuencia:	K = 0.553 (adimensional)	
Parámetro de duración:	n = 0.254 (adimensional)	
Parámetro de duración por región:	b = 0.5 horas	

FUENTE: Propia

Finalmente luego del cálculo de los parámetros se consiguió los coeficientes regionales para determinar precipitaciones e intensidades para diferentes tiempos de retorno. Tal como se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 13. Coeficientes Regionales

Tiempo duración	Coeficientes Regionales
	I_t / I_{24H}

10 min	14.49
20 min	12.27
30 min	10.71
40 min	9.54
50 min	8.64
1.0 h	7.91
1.5 h	6.38
2.0 h	5.40
4.0 h	3.81
6.0 h	2.81
7.0 h	2.51
8.0 h	2.27
10.0 h	1.92
11.0 h	1.79
12.0 h	1.68
24.0 h	1.00

FUENTE: Propia

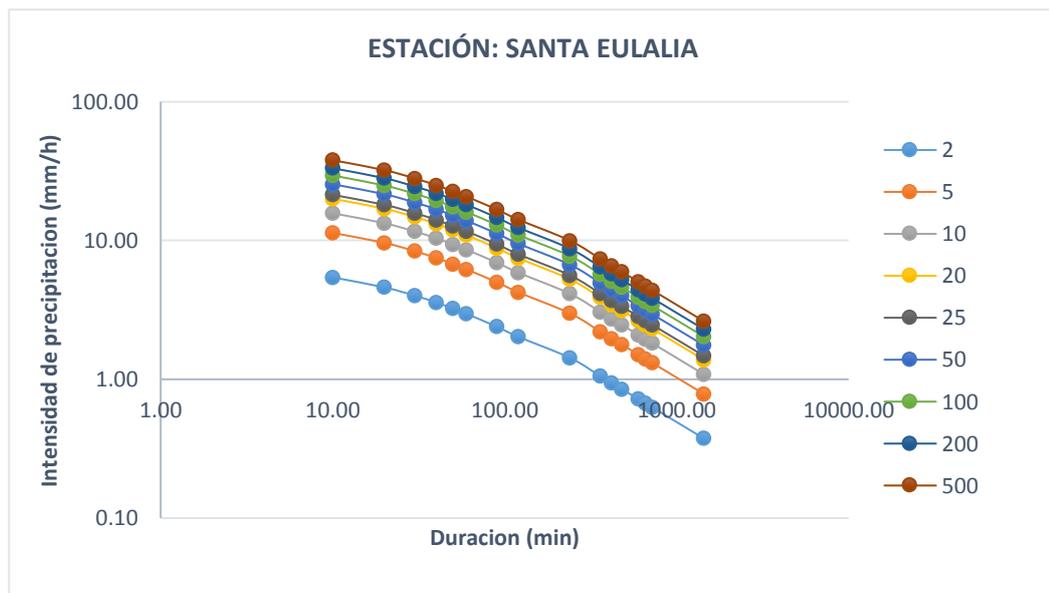
Dónde:

- I_t = Intensidad de tormenta para una duración “t” (en horas).
- I_{24H} = Intensidad de tormenta para una duración de 24 horas.

f. Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)

De los coeficientes regionales se obtuvo las intensidades lluvias máximas en 24 horas para diferentes duraciones y periodos de retorno. En la Tabla N°23 del anexo 1 Hidrología, se muestra el cuadro de intensidades para diferentes tiempos de retorno y duración de tormenta. En el Grafico N° 1 se muestra las Curvas IDF resultante y la ecuación encontrada para la Intensidad en función del tiempo de retorno y la duración de la tormenta.

Grafico 1: Curva de Intensidad Duración Frecuencia



Ecuación de Intensidad

$$I = \frac{10^{1.4863} T^{0.3242}}{t^{0.5551}}$$

I: Intensidad máxima (mm/h)

T: Período de retorno en años

t: Duración de la precipitación (min)

g. Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración de la tormenta estimado fue de 0.187 horas, según la ecuación de Kirpich.

$$tc = \frac{0.06628.L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

$$tc = \frac{0.6628 * 1.72^{0.77}}{0.2^{0.385}} = 0.187 \text{ hr}$$

h. Caudal de Diseño

El caudal de escorrentía calculado por el método racional fue estimado para diferentes tiempos de retorno e intensidades halladas en el ítem anterior, seleccionando un coeficiente de escorrentía de acuerdo a las características de zona de estudio. En la siguiente tabla se muestra los caudales.

Tabla 14. Caudales para cada periodo de retorno

Tiempo de Retorno (año)	Intensidad (mm/hr)	C	Q (m ³ /s)
500	2.62	0.8	0.23
200	2.29	0.8	0.20
100	2.03	0.8	0.18
50	1.76	0.8	0.15
25	1.48	0.8	0.13
20	1.38	0.8	0.12
10	1.09	0.8	0.096
5	0.78	0.8	0.069

**Coeficiente de Escorrentía*

C: Condición pobre superior a 7%

/

Se presenta los diferentes caudales para diversos periodos de retorno. Según criterio propio se escogió a 200 años de periodo de retorno por presentar un caudal considerable para que suceda un evento extremo además de contarse de un estudio en contacto tan próximo con la población universitaria.

4.2 RESULTADOS DE HIDRAULICA DE FLUJO DE ESCOMBROS

a) Concentración de Sedimentos (Cv)

La concentración de sedimentos es 0.450., fue selecto de la tabla clasificación de O'Brien y Julien (1988) que se muestra a continuación.

Tabla 15. Clasificación del flujo en función de la concentración del sedimento O'Brien y Julien ,1988

Descripción del Tipo de Flujo	Concent. de Sedimentos (Cv)		Características del Flujo
	En Volumen	En Peso	
Deslizamientos	0,65 – 0,80	0,83 – 0,91	No hay flujo; falla por deslizamiento de bloques
	0,55 – 0,65	0,76 – 0,83	Derrumbe de bloques con deformación interna durante el deslizamiento, movimiento paulatino del terreno antes de fallar.
Flujos de lodo (Mudflow)	0,48 – 0,55	0,72 – 0,76	Flujo evidente; deslizamiento lento sostenido por el flujo de lodo; deformación plástica bajo su propio peso; cohesivo; no se expande en la superficie.
	0,45 – 0,48	0,69 – 0,72	Flujo se extiende sobre la superficie; flujo cohesivo; algo de mezcla.
Avenida de lodo (Mud Flood)	0,40 – 0,45	0,65 – 0,69	El flujo se mezcla fácilmente; muestra las propiedades fluidas en la deformación; distribuido en la superficie horizontal pero mantiene una superficie fluida inclinada; partículas grandes se depositan (peñones); aparecen ondas pero se disipan rápidamente.
	0,35 – 0,40	0,59 – 0,65	Deposición marcada de gravas y cantos rodados; se expande casi completamente sobre la superficie horizontal; aparece la superficie líquida con dos fases del fluido; las olas viajan en la superficie.
	0,30 – 0,35	0,54 – 0,59	Separación del agua en la superficie; las olas viajan fácilmente; la mayoría de las arenas y gravas se han sedimentado y se mueven como arrastre de fondo
	0,20 – 0,30	0,41 – 0,54	Se distinguen claramente las olas y ondas; todas las partículas descansando en el fondo en condición inmóvil.
Inundación de agua	< 0,20	< 0,41	Inundación de agua con carga suspendida convencional y arrastre de fondo.

b) Volumen de Agua

El volumen de agua obtenido es:

$$V_a = Q * T_c$$

$$V_a = 0.2 * 0.18 * 3600 = 129.6 \text{ m}^3 \text{ por hora}$$

Donde:

Q (m³/s): Caudal de agua

T_c (s): Tiempo de concentración

c) Volumen de sedimentos

De la concentración de sedimentos y el volumen de agua estimado encontramos el volumen de sedimentos a partir de:

$$\frac{c_v V_a}{1-c_v} = V_s \quad \longrightarrow \quad \frac{0.45 \cdot 129.6}{1-0.45} = \mathbf{106.03} \quad \mathbf{m^3}$$

d) Caudal total del flujo

El caudal de total de flujo de escombros estimado fue de 0.4 m³/s, obtenido por la siguiente expresión, Takahashi (1978,1981).

$$Q_d = Q_0 \frac{C^*}{C^* - C_d} = 0.2 \frac{0.65}{0.65 - 0.45} = \mathbf{0.61} \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde Q_d representa el caudal máximo del flujo de detritos, Q_o el caudal máximo líquido, C_d concentración volumétrica de sólidos y C* la concentración máxima de los sólidos generalmente toma el valor de 65%.

e) Densidad de Flujo

La obtenida del flujo fue de 1.6 t/m³ que fue obtenida de la variación de la fórmula para cálculo de caudales propuesta por Takahashi, que tendría como única incógnita a la densidad del flujo tal como se muestra a continuación:

$$Q_t = \left[\left(1 + \frac{V_s}{V_a} \right) + \frac{(\rho - 1)}{(\sigma - \rho)} \right] * Q_l$$

Donde:

Q_t = **0.61** m³/s es el caudal total o caudal máximo de flujo de detritos

V_s (m³) = **106.03** es el volumen de detritos,

V_a (m³) = **129.6** volumen del agua

ρ (t/m³) = X es la densidad del fluido de detritos

σ (t/m³) = **1.8** por lo general toma este valor la densidad del sedimento

Q_l (m³/s) = **0.2** es el caudal líquido.

$$0.61 = \left[\left(1 + \frac{106.03}{129.6} \right) + \frac{(\rho - 1)}{(1.8 - \rho)} \right] * 0.2 \quad \longrightarrow \quad \mathbf{\rho = 1.59} \quad \mathbf{t/m^3}$$

f) Velocidad de Flujo

La velocidad del flujo de escombros estimada fue de 0.94 m/s y se encuentra dentro del rango del flujo de escombros que va de 0.5 a 20 m/s propuesto por el autor Costa (1984) tal como se en la siguiente expresión:

$$V = 2.11 * Q^{0.33} * S^{0.33} \quad \text{--->} \quad V = 2.11x0.6^{0.33}x 0.3^{0.33} = 1.21 \text{ m/s}$$

Donde:

Q (m³/s) : Caudal de flujo de detritos
S : Pendiente

Los resultados obtenidos anteriormente como: topografía, geología - geotecnia y los de hidrología son datos preliminares que se utilizaran para el diseño de la alternativa mixta elegida. Como por ejemplo las curvas topográficas serán útiles para el trazo de las zanjas y la colocación de los diques de piedra. De la hidrología obtenemos los caudales para diseño de las zanjas de infiltración y de la hidráulica torrencial nos da como dato principal la densidad del flujo que será útil para el diseño de los muros.

4.3 RESULTADOS DEL DISEÑO ELEGIDO

El diseño de la alternativa mixta, se procedió de la siguiente manera:

4.3.1 Diseño de la Zanja de infiltración:

Las zanjas de infiltración o mejor llamadas de recolección se colocaran en la parte alta a media de la mircro cuenca y serán trazadas hasta el cauce principal de la quebrada. Tuvieron medidas preliminares de 30 x 40, 20 x 30 cm de profundidad y ancho respectivamente, luego con el programa H Canales se realizó el diseño hidráulico con el cual corroboramos las medidas de las zanjas. Pero previamente se realizaron lo siguiente pasos:

- Para el trazo de una zanja se tuvo referencia las direcciones de la curva de nivel la pendiente variaba de 3 a 20 % que va dependiendo de la longitud de la zanja. La separación entre zanjas son de 40 a 50 metros. Siendo en total 12 zanjas trazadas. En el plano P- 4 del Anexo 4 de Planos, se muestra el trazo de las Zanjas en la Quebrada.

- El caudal de diseño de cada zanja fue calculado a partir del área que estaba por encima de la zanja por la lámina máxima de precipitación de 24 horas para el periodo de retorno de 200 años tal como se ve en la tabla N° 22 del Anexo 1 Hidrología muestra las Láminas calculadas para cada periodo de retorno. La siguiente expresión representa la fórmula de los caudales de las zanjas:

$$Q_z \left(\frac{m^3}{s} \right) = \text{Lamina} \left(\frac{l}{h} \right) \times \text{area} \frac{(m^2)}{24 * 1000 * 3600}$$

- Una vez obtenidos los caudales de cada zanja se procedió al diseño hidráulico con ayuda del programa H Canales que nos proporcionó datos de velocidades, tirante, radio hidráulico, etc. Así se verificó que las medidas que en un inicio fue propuesta eran adecuadas y no erosinables, se realizó el diseño de zanjas para las dos medidas iniciales, porque variaban de acuerdo al caudal que transitaban por cada uno de ellas.

En la siguiente tabla se muestra los datos calculados como caudal, pendiente, longitud, tirante, velocidad para las 12 zanjas diseñadas.

Tabla 16. Datos Calculados de las zanjas de Infiltración

N° de Tramo	Cota Inicial	Cota Final	Longitud	Pendiente	Área	Q m3/s	Tirante (m)	V (m/s)
1	1231	1225	219.61	0.03	7263.8	0.005	0.12	0.103
2	1224	1195	313.90	0.09	11556.8	0.007	0.1	0.16
3	1230	1167	390.58	0.16	16312.0	0.010	0.11	0.22
4	1215	1140	401.65	0.14	16320.0	0.010	0.1	0.24
5	1185	1115	339.10	0.20	13783.9	0.009	0.09	0.24
6	1150	1093	267.80	0.20	12811.4	0.008	0.08	0.23
7	1120	1087	161.20	0.20	4594.6	0.003	0.05	0.17
8	1260	1230	140.32	0.19	7763.1	0.005	0.07	0.21
9	1236	1203	155.64	0.19	4316.3	0.003	0.05	0.18
10	1220	1190	192.36	0.16	5110.7	0.003	0.06	0.16
11	1203	1153	241.00	0.20	9072.4	0.006	0.08	0.22
12	1183	1120	304.32	0.20	9996.9	0.006	0.089	0.22

En el Anexo 2 de Diseño de las figuras de N°1 al 12 muestran los diseños hidráulicos calculados en H Canales.

El plano P-5 del Anexo 4 de Planos muestra el corte 1-1' y detalle de las zanjas.

Como se mencionó en el ítem 4.5 selección de la alternativa en el capítulo anterior se colocarán enrocado en forma de camas en algunos tramos de la parte media del cauce

principal de la quebrada, se fijaran manualmente en filas una encima de otra, sin ningún tipo de mortero los diámetros mínimos y máximos de las rocas son de 10 a 30 cm.

La longitud no pasara de 6 metros y el ancho será colocado de acuerdo al lecho de la quebrada, con una altura no mayor a 0.40 metros.

En el P-7 del Anexo 4 de Planos se muestra la ubicación de las camas en el Perfil Longitudinal del cauce principal de la quebrada en la parte media de la quebrada. Y en el plano P-10 la sección típica del mismo.

4.3.2 Diseño de los diques de piedra:

Son nueve diques de piedra que serán construidos en la parte media a baja del cauce principal de la quebrada, para su construcción se empleara rocas de la zona que serán colocadas enfilas y se formaran bloques.

Del corte transversal vemos que lo muros tendrán forma trapezoidal.

Los diques fueron diseñados para 2 y 3 metros de altura suponiendo inicialmente medidas provisionales geométricas luego se realizó el cálculo de estabilidad que fueron explicadas en ítem 2.2.6 de la Metodología. Para su dimensionamiento apropiado fue necesario conocer ciertos parámetros básicos como:

- Densidad específica: 1.6 tn/m^3 calculada para el flujo de escombros que servirá al cálculo de los empujes superficiales.
- El ángulo de fricción: 32° que se obtuvo del estudio de suelos.
- Cohesión 0.16 kg/cm^2 y la capacidad de carga admisible es de 4.07 kg/cm^2 ambos datos fueron obtenidos del estudio de suelos.

Todos estos cálculos fueron elaborados en una hoja de Excel para el dimensionamiento de diques de piedras. En el Anexo 2 de Diseño se muestra todo los datos y cálculos.

La colocación de los diques de piedra se realizó en la parte media a baja de la quebrada porque es donde se depositan más escombros después de cada evento de huayco. En el plano P-7 del Anexo 4 de Planos se muestra la ubicación de los muros en el perfil longitudinal de la quebrada.

Así mismo en el plano P-10 del Anexo 4 de Planos se muestra las secciones típicas de los diques.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La alternativa propuesta para estabilizar la quebrada Cantuta II es un sistema mixto conformado por: zanjas de drenaje, cama de gravas (enrocado) y diques de piedra, ubicados en la zona alta, media y baja de la quebrada, respectivamente.
- Los flujos de escombros que transitan por la quebrada Cantuta II, desfoga directamente en su cono de deyección que donde se ubica la Universidad Nacional de Educación – La Cantuta. Por este motivo no llega a descargar su flujo en el Río Rímac.
- Las características físicas de la quebrada Cantuta II son: el área de drenaje delimitada es de 0.4 km^2 , las pendientes calculadas de 50.7%, 42.3%, 27.47% corresponden a los sectores de las micro cuencas formadas: alta, media y baja respectivamente; el cauce principal de la quebrada tiene una longitud de 1.72 km. El suelo tiene presencia de gravas envuelta en textura arcilla arenosa, con 31° de ángulo de fricción y presenta una cohesión de 0.16 kg/cm^2 . La quebrada cuenta con presencia de depósitos aluviales y coluviales en el cauce, proveniente de disgregaciones de la sub unidad geológica Santa Rosa
- La hidrología en la zona de estudio fue trabajada para un periodo de retorno de 200 años con lo que se consiguió obtener como resultado una intensidad de 2.29 mm/hr, lámina de agua de 55 mm y un caudal de $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

- El flujo típico ocasionado por los huaycos, es estudiada por la hidráulica de escombros y mediante ello se logró estimar un caudal de flujo de escombros de 0.6 m³/s y densidad de 1.59 tn/m³, para la quebrada Cantuta II.

- La alternativa propuesta es una combinación de las medidas de mitigación de huaycos: zanjas de drenaje que procuran disminuir la erosión hídrica de la cuenca de recepción, principal causante del deslizamiento de escombros, y conducir el agua hacia el cauce, luego pasar al enrocado del cauce que ayuda a evitar la erosión y disminuye la energía del flujo del huayco, por último se colocan los diques de piedra, que evitan el paso de algunos escombros para que no lleguen a alcanzar las instalaciones de la UNE. Como se ve cada mecanismo cumple una función que en conjunto termina tratando a la quebrada Cantuta II en las zonas alta, media y baja; y son diseñadas como se describe a continuación:

1. Las zanjas de drenaje o de recolección permiten derivar el agua de lluvia hacia el cauce principal. Se propone construir 12 zanjas de drenaje, siguiendo el sentido de las curvas de nivel. Las zanjas tendrán longitud variable entre 140 y 400 metros, ancho entre 30 y 40 cm y profundidad entre 20 y 30 cm.

2. El área de enrocado es variable, y se colocarán manualmente cada 40 metros en tramos de 510 metros, de acuerdo a la forma del cauce. El enrocado tendrá longitud de 6 metros, aproximadamente, y ancho variable.

3. Los diques de piedra que se propone colocar serán nueve en la zona baja de la quebrada, de manera perpendicular al lecho, con alturas de 2 o 3 metros y longitudes variables, de acuerdo al ancho del cauce.

5.2 RECOMENDACIONES

- La presente investigación fue llevada a cabo detallando las características de la quebrada Cantuta II: topografía, geología-geotecnia, geomorfología, hidrología e hidráulica de flujos de escombros, información relevante para seleccionar una medida de mitigación de huaycos. Por lo cual, se sugiere emplear este modelo en proyectos futuros relacionados a la estabilización de quebradas afectadas por huaycos.
- La quebrada cantuta II no es considerada por el Instituto Nacional De Defensa Civil (INDECI) como una quebrada propiamente dicha, porque no presenta el tamaño considerado y por causar daños irrelevantes según esta institución. Pero ya visto en el presente estudio los daños ocasionados cada vez que se activa debería ser considerada como una quebrada seca que periódicamente sufrirá ocurrencia de huaycos, causando daños en las instalaciones de la UNE y hasta con la suspensión de labores académicas. Por ello se recomienda que el INDECI debería evaluar sus parámetros de estandarización para actualizar su lista de quebradas afectadas por huaycos.
- La presente investigación permitió estimar los datos necesarios para el diseño de las medidas de estabilización del huayco de la quebrada Cantuta II, sin embargo, para acelerar los cálculos de dichos datos, se recomienda emplear programas de modelamiento hidráulico, como por ejemplo “Flo 2D”, que permitan determinar áreas de inundación, profundidades de sedimentación, velocidad de flujo y fuerzas de impacto sobre las estructuras.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAVO, J (1903). *Los Huaycos*. Vol. Informe Memorias Sociedad de Ingenieros del Perú. Vol. V. pag. 13-21. Lima, Perú
- CAHUAYAL RAMIREZ, RF (1992). *Estudio de Método de corrección de Drenaje para evitar los Huaycos y su aplicación en la Quebrada Pedregal – Chosica*. Tesis Ing. Civil. Lima, Perú. UNI. Págs. 40-48.
- CASTILLO, L (2006). “*Aplicación de un Modelo Numérico de flujos de escombros y lodo en una quebrada en el Perú*”. Tesis Ing. Civil. Lima, Perú. UNI. Págs. 4-6.
- COTRINA, L (1982). *Huaycos y desbordes del Río Rímac*. Tesis Ing. Civil. Lima, Perú. UNI. Págs. 50-55.
- EIAS (2003). Manual de Conservación de aguas y suelos. Recuperado en septiembre 14,2015 de:
http://eias.utralca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/i_instructivo_diques.pdf
- HERNANDEZ, J (2012). Riesgos Geológicos Externos. Recuperado en septiembre 16,2015 de: <http://es.slideshare.net/Alberkar/riesgos-geologicos-externos-2012>
- GARCIA, J (1962). Principios de Hidráulica torrenciales. Escuela Superior de Montes.
- MARTINEZ, A (2013). Geotecnia de los Huaycos en Chosica. Vol I y II. Lima, Perú
- O´BRIEN J.S & PIERRE Y JULIEN. (1988). Laboratory Analysis of Mudflow Properties. Journal of Hydraulic Engineering, Vol 114, N° 8, ASCE.
- PHILIPPE COUSSOT, (1997). Mudflow Rheology and Dynamics, International Association for Hydraulic Research. Ediciones A.A Balkema- Rotterdam.
- PRONAMACHCS (1988). Impacto de la Conservación de suelos y aguas en la sierra peruana. Lima- Perú. 20p.

- ROCHA, A (2007). “EL NIÑO”: ¿un desastre o un fenómeno?. Recuperado en septiembre 10, 2015 de:
[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9912EC17252E1C3305257CA6005CC547/\\$FILE/FEN_Desastre_fenomeno.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9912EC17252E1C3305257CA6005CC547/$FILE/FEN_Desastre_fenomeno.pdf).
- ROCHA, A (2011). El Impacto del Fenómeno de El Niño en Zonas Urbanas. Recuperado en 20 de Diciembre del 2015 de:
http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/ROCHA/Impacto_del_FEN_en_zonas_urbanas.pdf
- SUAREZ, J (2001). Control de Erosión en Zonas Tropicales. Bucaramanga – Colombia.
- TREJO, V (1988). *Estudio Hidrogeodinámico del Huayco con el fin de Mitigar sus efectos, Cuenca Río Rímac- micro cuenca Malata*. Tesis Ing. Agrícola. Lima, Perú. UNALM. Pags. 80-86.
- TRICART, J. (1961). Movimiento del Agua sobre la vertiente y los problemas geomorfológicos. Ciclo de Conferencias, Lgga-1 UNI.
- VASQUEZ (2012). Cosecha de Agua de lluvia en laderas Semiaridas de la sierra y su impacto en el proceso de Desertification y cambio Climático. Libro UNALM- Lima, Perú Pags. 25-26.

VII. ANEXOS

ANEXO 1

HIDROLOGIA

1. Tabla 17. Precipitaciones Máximas en 24 Horas (mensuales), de la estación Santa Eulalia.

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	MÁXIMO
1964	1.3	5.40	4.1	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4
1965	0.0	0.00	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.6	1.2	1.2
1966	26.0	0.30	25.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	26.0
1967	10.5	29.80	26.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.2	29.8
1968	0.0	0.00	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
1969	6.0	2.80	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.9	5.0	10.6
1970	30.8	5.00	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	1.5	1.5	0.0	30.8
1971	0.0	13.0	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	14.5
1972	6.8	10.00	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	20.0
1973	19.2	0.00	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.5	0.0	5.0	19.2
1974	3.0	5.80	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	6.0
1975	2.8	8.80	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.5	14.5
1976	3.0	30.00	5.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	30.0
1977	5.0	5.30	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0
1978	5.0	0.00	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8
1979	0.0	0.00	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
1980	0.0	0.00	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
1981	1.0	10.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	10.0
1982	0.0	5.19	2.5	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	5.6
1983	0.0	0.00	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0
1984	0.0	10.50	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5
1985	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4
1986	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.0
1987	0.0	17.8	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.8
1988	9.7	4.50	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	9.7
1989	4.3	27.60	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.6
1990	3.0	0.00	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	6.5
1991	0.0	1.50	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0
1992	0.3	2.29	0.6	0.3	0.8	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	1.0	2.3
1993	0.5	1.60	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
1994	13.5	2.90	0.0	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.7	13.5
1995	3.8	0.00	2.5	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	1.3	0.0	3.8
1996	3.0	4.50	4.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	4.5
1997	2.2	2.59	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6	4.9	4.9
1998	5.9	5.30	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.2	5.9
1999	3.7	14.69	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.8	14.7
2000	6.4	3.79	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	6.4
2001	8.0	7.59	3.7	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	0.0	8.0
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	MÁXIMO

2002	0.7	30.70	1.1	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.5	30.7
2003	1.5	2.50	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	4.1
2004	0.0	2.50	2.4	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	1.8	2.5
2005	1.2	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	1.5
2006	6.3	7.80	4.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	2.7	7.8
2007	2.8	2.79	2.7	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.0	7.7
2008	3.0	3.50	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	5.3
2009	4.4	11.19	4.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.6	1.1	11.2
2010	4.5	0.69	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.6	0.0	3.0	4.5
2011	5.0	5.50	2.1	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	5.0	5.5
2012	0.0	9.50	3.1	37.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.5	1.5	37.0
2013	0.0	3.50	1.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	8.5
2014	3.5	2.20	0.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7	3.5

2. **Tabla 18.** Análisis de *datos dudosos* o Consistencia de Datos.

Nº	AÑO		ORDEN	P24	log(P24)	
1	1964	35	1	35	5.4	0.7324
2	1965	49	1	49	1.2	0.0792
3	1966	7	1	7	26.0	1.4150
4	1967	5	1	5	29.8	1.4742
5	1968	50	1	50	0.5	(0.3010)
6	1969	16	1	16	10.6	1.0253
7	1970	2	1	2	30.8	1.4886
8	1971	12	1	12	14.5	1.1614
9	1972	8	1	8	20.0	1.3010
10	1973	9	1	9	19.2	1.2833
11	1974	31	1	31	6.0	0.7782
12	1975	12	2	13	14.5	1.1614
13	1976	4	1	4	30.0	1.4771
14	1977	23	1	23	8.0	0.9031
15	1978	28	1	28	6.8	0.8325
16	1979	18	1	18	10.0	1.0000
17	1980	18	2	19	10.0	1.0000
18	1981	18	3	20	10.0	1.0000
19	1982	33	1	33	5.6	0.7474
20	1983	23	2	24	8.0	0.9031
21	1984	17	1	17	10.5	1.0212
22	1985	51	1	51	0.4	(0.3979)
23	1986	46	1	46	2.0	0.3010
24	1987	10	1	10	17.8	1.2499
25	1988	21	1	21	9.7	0.9863
26	1989	6	1	6	27.6	1.4409
27	1990	29	1	29	6.5	0.8129
28	1991	43	1	43	3.0	0.4771
Nº	AÑO		ORDEN	P24	log(P24)	

29	1992	45	1	45	2.3	0.3598
30	1993	46	2	47	2.0	0.3010
31	1994	14	1	14	13.5	1.1303
32	1995	41	1	41	3.8	0.5786
33	1996	38	1	38	4.5	0.6532
34	1997	37	1	37	4.9	0.6902
35	1998	32	1	32	5.9	0.7709
36	1999	11	1	11	14.7	1.1670
37	2000	30	1	30	6.4	0.8062
38	2001	23	3	25	8.0	0.9031
39	2002	3	1	3	30.7	1.4871
40	2003	40	1	40	4.1	0.6117
41	2004	44	1	44	2.5	0.3979
42	2005	48	1	48	1.5	0.1761
43	2006	26	1	26	7.8	0.8921
44	2007	27	1	27	7.7	0.8859
45	2008	36	1	36	5.3	0.7243
46	2009	15	1	15	11.2	1.0488
47	2010	38	2	39	4.5	0.6532
48	2011	34	1	34	5.5	0.7404
49	2012	1	1	1	37.0	1.5682
50	2013	22	1	22	8.5	0.9294
51	2014	42	1	42	3.5	0.5441
Numero de datos n					51	51
Suma Σ					540.10	43.37
Máximo					37.00	1.57
Mínimo					0.40	-0.40
Promedio \bar{x}					10.59	0.85
Desviación estándar s					9.22	0.43
Coefficiente asimetría Cs					1.35	-0.71
Cs/6 k					0.22	-0.12

PRUEBA DE DATOS DUDOSOS (Método Water Resources Council)

$$n = 51$$

$$Kn = 2.78^*$$

Kn: Valor recomendado, varía según el valor de n (significancia: 10%)

**Referencia: Tabla 12.5.3 – Hidrología Aplicada, Ven Te Chow*

- Umbral de datos dudosos **Altos (X_H : unid. Logarítmicas)**

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

$$X_H = 2.0571$$

Precipitación máxima aceptada

$$PH = 10^{x_H}$$

$$PH = 114.0 \text{ m}$$

- Umbral de datos dudosos **Bajos (X_L : Unid. Logarítmicas)**

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

$$X_L = -0.3562$$

Precipitación Mínima Aceptada

$$PH = 10^{x_L}$$

$$PL = 0.4 \text{ mm}$$

3. Tabla 19. Distribución de Probabilidades.

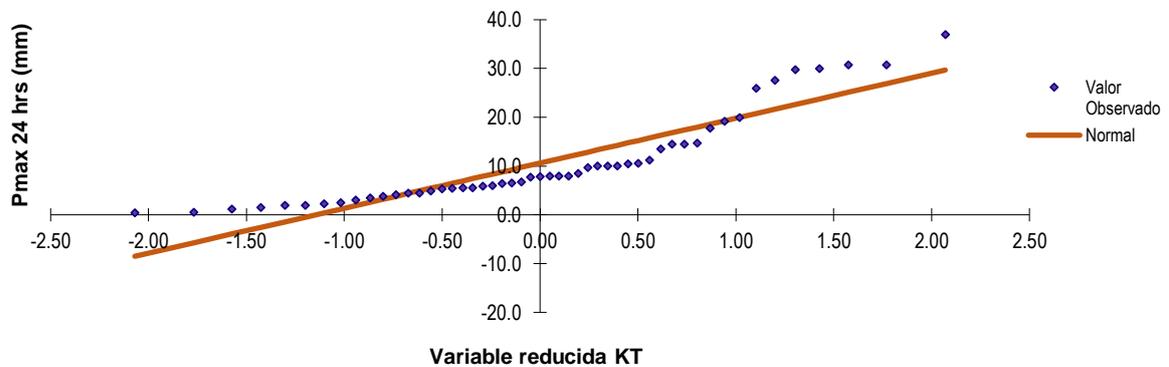
	P24	log(P24)
Numero de datos: n	51	
Promedio: x	10.59	0.85
Desviación estándar: s	9.22	0.43
Coficiente asimetría: Cs	1.35	-0.71
Cs/6: k	0.22	-0.12

N	T	P(X≤xT)	VALOR OBSERVADO		NORMAL		GUMBEL		LOGNORMAL		PEARSON III		LOGPEARSON III	
			P24	log(P24)	K _T	ESPERADO								
1	52.0	1.9%	37.0	1.57	2.07	29.7	2.62	34.8	2.07	56.1	2.72	35.6	1.67	37.7
2	26.0	3.8%	30.8	1.49	1.77	26.9	2.08	29.7	1.77	41.5	2.14	30.3	1.50	31.7
3	17.3	5.8%	30.7	1.49	1.57	25.1	1.75	26.7	1.57	34.2	1.80	27.2	1.38	28.1
4	13.0	7.7%	30.0	1.48	1.43	23.7	1.52	24.6	1.43	29.5	1.56	24.9	1.28	25.5
5	10.4	9.6%	29.8	1.47	1.30	22.6	1.34	22.9	1.30	26.1	1.36	23.2	1.20	23.4
6	8.7	11.5%	27.6	1.44	1.20	21.6	1.19	21.5	1.20	23.5	1.20	21.7	1.12	21.8
7	7.4	13.5%	26.0	1.41	1.10	20.8	1.06	20.3	1.10	21.4	1.07	20.4	1.05	20.3
8	6.5	15.4%	20.0	1.30	1.02	20.0	0.95	19.3	1.02	19.6	0.95	19.3	0.99	19.1
9	5.8	17.3%	19.2	1.28	0.94	19.3	0.84	18.4	0.94	18.2	0.84	18.3	0.93	18.0
10	5.2	19.2%	17.8	1.25	0.87	18.6	0.75	17.5	0.87	16.9	0.74	17.4	0.88	17.0
11	4.7	21.2%	14.7	1.17	0.80	18.0	0.67	16.8	0.80	15.8	0.66	16.6	0.82	16.1
12	4.3	23.1%	14.5	1.16	0.74	17.4	0.59	16.1	0.74	14.8	0.57	15.9	0.77	15.3
13	4.0	25.0%	14.5	1.16	0.67	16.8	0.52	15.4	0.67	13.9	0.50	15.2	0.72	14.6
14	3.7	26.9%	13.5	1.13	0.62	16.3	0.45	14.8	0.62	13.1	0.43	14.5	0.67	13.9
15	3.5	28.8%	11.2	1.05	0.56	15.7	0.39	14.2	0.56	12.4	0.36	13.9	0.62	13.2
16	3.3	30.8%	10.6	1.03	0.50	15.2	0.33	13.6	0.50	11.7	0.30	13.3	0.58	12.6
17	3.1	32.7%	10.5	1.02	0.45	14.7	0.27	13.1	0.45	11.1	0.24	12.8	0.53	12.0
18	2.9	34.6%	10.0	1.00	0.40	14.2	0.22	12.6	0.40	10.5	0.18	12.2	0.48	11.5
19	2.7	36.5%	10.0	1.00	0.34	13.8	0.16	12.1	0.34	10.0	0.12	11.7	0.44	11.0
20	2.6	38.5%	10.0	1.00	0.29	13.3	0.11	11.6	0.29	9.5	0.07	11.2	0.39	10.5
21	2.5	40.4%	9.7	0.99	0.24	12.8	0.06	11.2	0.24	9.0	0.02	10.8	0.35	10.0
22	2.4	42.3%	8.5	0.93	0.19	12.4	0.02	10.7	0.19	8.6	-0.03	10.3	0.30	9.6
23	2.3	44.2%	8.0	0.90	0.15	11.9	-0.03	10.3	0.15	8.2	-0.08	9.9	0.25	9.1
24	2.2	46.2%	8.0	0.90	0.10	11.5	-0.08	9.9	0.10	7.8	-0.12	9.4	0.21	8.7
25	2.1	48.1%	8.0	0.90	0.05	11.0	-0.12	9.5	0.05	7.4	-0.17	9.0	0.16	8.3
26	2.0	50.0%	7.8	0.89	0.00	10.6	-0.16	9.1	0.00	7.1	-0.21	8.6	0.12	8.0
27	1.9	51.9%	7.7	0.89	-0.05	10.1	-0.21	8.7	-0.05	6.8	-0.26	8.2	0.07	7.6
28	1.9	53.8%	6.8	0.83	-0.10	9.7	-0.25	8.3	-0.10	6.4	-0.30	7.8	0.02	7.2
29	1.8	55.8%	6.5	0.81	-0.15	9.3	-0.29	7.9	-0.15	6.1	-0.34	7.5	-0.03	6.9
30	1.7	57.7%	6.4	0.81	-0.19	8.8	-0.33	7.5	-0.19	5.8	-0.38	7.1	-0.08	6.6
31	1.7	59.6%	6.0	0.78	-0.24	8.3	-0.37	7.1	-0.24	5.6	-0.42	6.7	-0.13	6.2
32	1.6	61.5%	5.9	0.77	-0.29	7.9	-0.41	6.8	-0.29	5.3	-0.46	6.4	-0.18	5.9

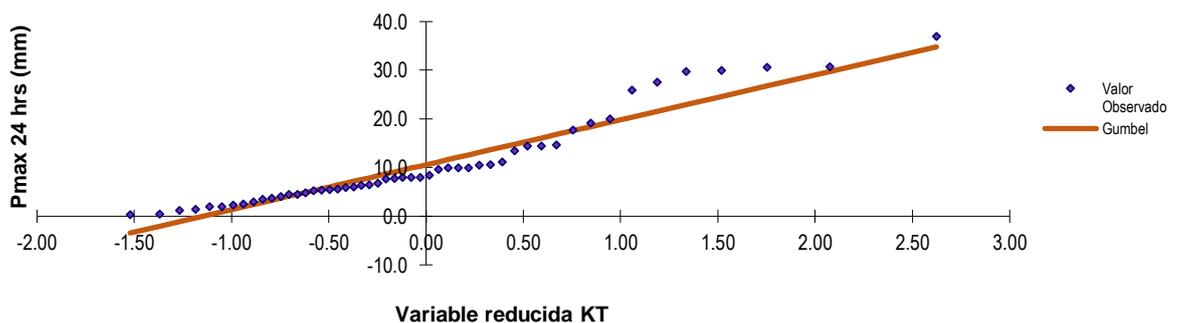
33	1.6	63.5%	5.6	0.75	-0.34	7.4	-0.46	6.4	-0.34	5.0	-0.50	6.0	-0.23	5.6
34	1.5	65.4%	5.5	0.74	-0.40	6.9	-0.50	6.0	-0.40	4.8	-0.54	5.6	-0.29	5.3
35	1.5	67.3%	5.4	0.73	-0.45	6.5	-0.54	5.6	-0.45	4.5	-0.58	5.3	-0.34	5.0
36	1.4	69.2%	5.3	0.72	-0.50	6.0	-0.58	5.3	-0.50	4.3	-0.61	4.9	-0.40	4.7
37	1.4	71.2%	4.9	0.69	-0.56	5.4	-0.62	4.9	-0.56	4.1	-0.65	4.6	-0.46	4.5
38	1.4	73.1%	4.5	0.65	-0.62	4.9	-0.66	4.5	-0.62	3.8	-0.69	4.2	-0.53	4.2
39	1.3	75.0%	4.5	0.65	-0.67	4.4	-0.70	4.1	-0.67	3.6	-0.73	3.9	-0.59	3.9
40	1.3	76.9%	4.1	0.61	-0.74	3.8	-0.75	3.7	-0.74	3.4	-0.77	3.5	-0.66	3.6
41	1.3	78.8%	3.8	0.58	-0.80	3.2	-0.79	3.3	-0.80	3.2	-0.81	3.1	-0.74	3.4
42	1.2	80.8%	3.5	0.54	-0.87	2.6	-0.84	2.8	-0.87	3.0	-0.85	2.8	-0.82	3.1
43	1.2	82.7%	3.0	0.48	-0.94	1.9	-0.89	2.4	-0.94	2.8	-0.89	2.4	-0.91	2.9
44	1.2	84.6%	2.5	0.40	-1.02	1.2	-0.94	1.9	-1.02	2.6	-0.93	2.0	-1.00	2.6
45	1.2	86.5%	2.3	0.36	-1.10	0.4	-0.99	1.4	-1.10	2.3	-0.97	1.6	-1.11	2.3
46	1.1	88.5%	2.0	0.30	-1.20	-0.5	-1.05	0.9	-1.20	2.1	-1.02	1.2	-1.22	2.1
47	1.1	90.4%	2.0	0.30	-1.30	-1.4	-1.11	0.3	-1.30	1.9	-1.06	0.8	-1.36	1.8
48	1.1	92.3%	1.5	0.18	-1.43	-2.6	-1.18	-0.3	-1.43	1.7	-1.11	0.3	-1.52	1.6
49	1.1	94.2%	1.2	0.08	-1.57	-3.9	-1.27	-1.1	-1.57	1.5	-1.17	-0.2	-1.72	1.3
50	1.0	96.2%	0.5	-0.30	-1.77	-5.7	-1.37	-2.1	-1.77	1.2	-1.23	-0.8	-1.99	1.0
51	1.0	98.1%	0.4	-0.40	-2.07	-8.5	-1.52	-3.4	-2.07	0.9	-1.32	-1.5	-2.44	0.6

Periodo de retorno en
T: años
P: Probabilidad de
ocurrencia

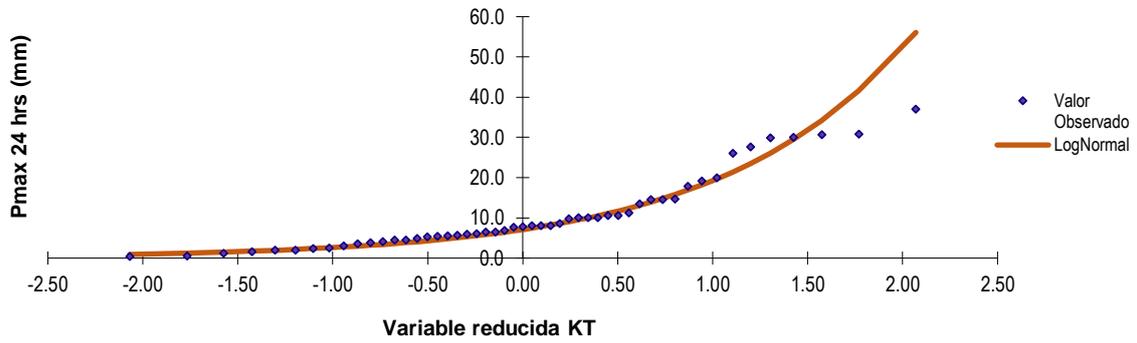
4. Grafica N° 2: Ajuste Estadístico Normal



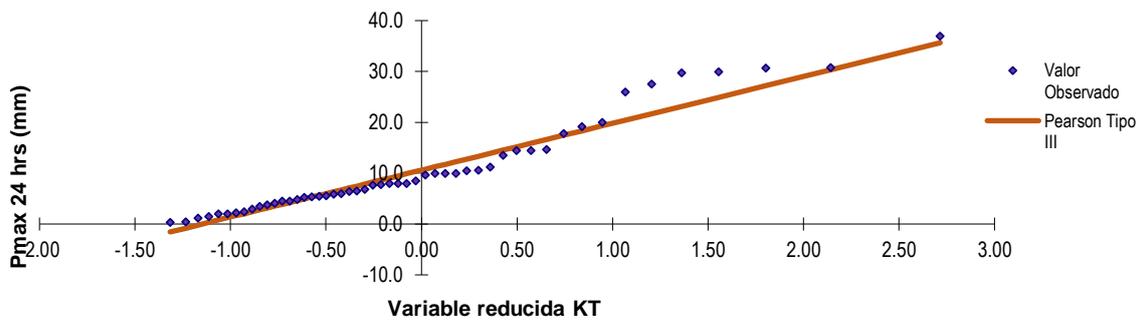
5. Grafica N°3: Ajuste Estadístico – Gumbel



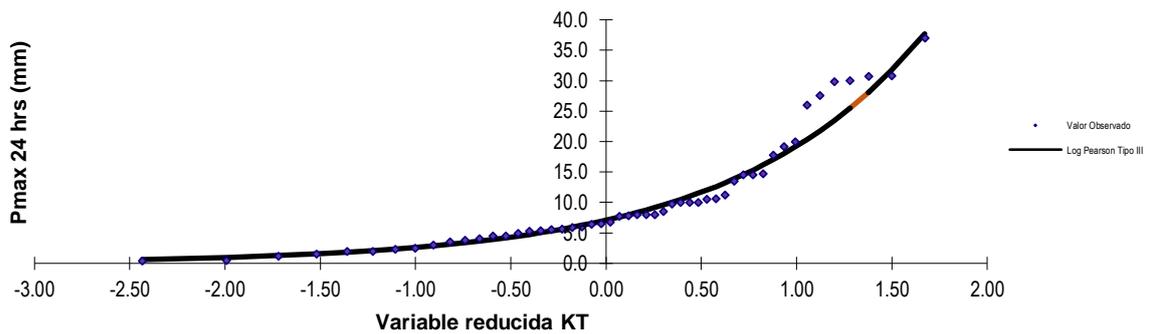
6. Grafica N° 4: Ajuste Estadístico – Log Normal



7. Grafica N° 5: Ajuste Estadístico – Pearson Tipo III



8. Grafica N° 6: Ajuste Estadístico – Log Pearson Tipo III



9. Tabla 20. Prueba de Bondad de Ajuste Kolmogorov – Smirnov

m	x_m	$F_o(x_m)$	$F(x_m)$ Normal	$ F_o(x_m)-F(x_m) $ Normal	$F(y_m)$ Log - Normal	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Log - Normal	$F(y_m)$ Pearson III	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Pearson III	$F(y_m)$ Log Pearson III	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Log Pearson III	$F(x_m)$ Gumbel	$ F_o(x_m)-F(x_m) $ Gumbel
1	37.00	0.9808	0.9979	0.0171	0.9509	0.030	0.984	0.003	0.9791	0.0017	0.986	0.005
2	30.80	0.9615	0.9858	0.0242	0.9292	0.032	0.964	0.002	0.9574	0.0041	0.967	0.005
3	30.70	0.9423	0.9854	0.0431	0.9288	0.014	0.963	0.021	0.9569	0.0146	0.966	0.024
4	30.00	0.9231	0.9823	0.0592	0.9256	0.003	0.960	0.037	0.9535	0.0304	0.963	0.040
5	29.80	0.9038	0.9813	0.0775	0.9247	0.021	0.959	0.055	0.9523	0.0485	0.962	0.058
6	27.60	0.8846	0.9674	0.0828	0.9131	0.029	0.945	0.061	0.9391	0.0545	0.949	0.064
7	26.00	0.8654	0.9526	0.0872	0.9033	0.038	0.933	0.067	0.9273	0.0619	0.936	0.071
8	20.00	0.8462	0.8461	0.0000	0.8504	0.004	0.858	0.012	0.8602	0.0141	0.859	0.013
9	19.20	0.8269	0.8247	0.0022	0.8407	0.014	0.844	0.017	0.8478	0.0208	0.844	0.017
10	17.78	0.8077	0.7821	0.0256	0.8213	0.014	0.815	0.007	0.8227	0.0150	0.813	0.006
11	14.69	0.7885	0.6716	0.1168	0.7671	0.021	0.736	0.053	0.7533	0.0352	0.728	0.061
12	14.50	0.7692	0.6642	0.1051	0.7631	0.006	0.730	0.039	0.7484	0.0208	0.722	0.047
13	14.50	0.7500	0.6642	0.0858	0.7631	0.013	0.730	0.020	0.7484	0.0016	0.722	0.028
14	13.50	0.7308	0.6238	0.1070	0.7405	0.010	0.698	0.033	0.7202	0.0105	0.688	0.043
15	11.19	0.7115	0.5259	0.1856	0.6762	0.035	0.613	0.098	0.6428	0.0687	0.597	0.115
16	10.60	0.6923	0.5004	0.1919	0.6565	0.036	0.589	0.103	0.6200	0.0723	0.571	0.122
17	10.50	0.6731	0.4961	0.1770	0.6530	0.020	0.585	0.088	0.6162	0.0569	0.566	0.107
18	10.00	0.6538	0.4745	0.1794	0.6348	0.019	0.563	0.091	0.5956	0.0582	0.544	0.110
19	10.00	0.6346	0.4745	0.1601	0.6348	0.000	0.563	0.071	0.5956	0.0390	0.544	0.091
20	10.00	0.6154	0.4745	0.1409	0.6348	0.019	0.563	0.052	0.5955	0.0198	0.544	0.072
21	9.69	0.5962	0.4611	0.1350	0.6229	0.027	0.549	0.047	0.5822	0.0139	0.529	0.067
22	8.50	0.5769	0.4104	0.1665	0.5722	0.005	0.494	0.083	0.5272	0.0498	0.472	0.105
23	8.00	0.5577	0.3894	0.1683	0.5483	0.009	0.469	0.088	0.5021	0.0556	0.447	0.111
24	8.00	0.5385	0.3894	0.1490	0.5483	0.010	0.469	0.069	0.5020	0.0364	0.447	0.091
25	8.00	0.5192	0.3894	0.1298	0.5483	0.029	0.469	0.050	0.5020	0.0172	0.447	0.072
26	7.80	0.5000	0.3811	0.1189	0.5382	0.038	0.459	0.041	0.4915	0.0085	0.437	0.063
27	7.69	0.4808	0.3766	0.1042	0.5326	0.052	0.454	0.027	0.4858	0.0051	0.432	0.049
28	6.80	0.4615	0.3406	0.1210	0.4835	0.022	0.407	0.054	0.4365	0.0250	0.386	0.075
29	6.50	0.4423	0.3287	0.1136	0.4655	0.023	0.392	0.050	0.4190	0.0233	0.371	0.071
30	6.40	0.4231	0.3248	0.0982	0.4594	0.036	0.387	0.037	0.4127	0.0103	0.366	0.057
31	6.00	0.4038	0.3094	0.0945	0.4338	0.030	0.365	0.039	0.3886	0.0153	0.345	0.058
32	5.90	0.3846	0.3056	0.0790	0.4272	0.043	0.359	0.025	0.3820	0.0026	0.340	0.044
33	5.59	0.3654	0.2939	0.0715	0.4062	0.041	0.343	0.023	0.3627	0.0027	0.325	0.041
34	5.50	0.3462	0.2905	0.0556	0.3999	0.054	0.338	0.008	0.3569	0.0108	0.320	0.026
35	5.40	0.3269	0.2868	0.0401	0.3928	0.066	0.332	0.005	0.3501	0.0232	0.315	0.012
36	5.30	0.3077	0.2832	0.0245	0.3856	0.078	0.327	0.019	0.3437	0.0360	0.310	0.002
37	4.90	0.2885	0.2687	0.0198	0.3560	0.068	0.305	0.017	0.3169	0.0285	0.290	0.001
38	4.50	0.2692	0.2546	0.0147	0.3248	0.056	0.282	0.013	0.2891	0.0198	0.270	0.001
39	4.50	0.2500	0.2546	0.0046	0.3248	0.075	0.282	0.032	0.2891	0.0391	0.270	0.020
40	4.09	0.2308	0.2405	0.0097	0.2912	0.060	0.260	0.030	0.2604	0.0297	0.250	0.019
41	3.79	0.2115	0.2305	0.0190	0.2656	0.054	0.244	0.032	0.2380	0.0265	0.236	0.024
42	3.50	0.1923	0.2211	0.0288	0.2401	0.048	0.228	0.035	0.2169	0.0246	0.222	0.030
43	3.00	0.1731	0.2053	0.0322	0.1949	0.022	0.200	0.027	0.1790	0.0060	0.199	0.026
44	2.50	0.1538	0.1902	0.0364	0.1486	0.005	0.174	0.020	0.1408	0.0131	0.177	0.024
45	2.29	0.1346	0.1841	0.0495	0.1292	0.005	0.163	0.028	0.1243	0.0103	0.169	0.034

46	2.00	0.1154	0.1759	0.0605	0.1028	0.013	0.148	0.032	0.1018	0.0136	0.157	0.041
47	2.00	0.0962	0.1759	0.0797	0.1028	0.007	0.148	0.051	0.1018	0.0056	0.157	0.061
48	1.50	0.0769	0.1622	0.0853	0.0601	0.017	0.122	0.046	0.0642	0.0127	0.137	0.060
49	1.20	0.0577	0.1544	0.0967	0.0378	0.020	0.108	0.050	0.0429	0.0148	0.126	0.068
50	0.50	0.0385	0.1370	0.0986	0.0040	0.034	0.076	0.038	0.0037	0.0347	0.102	0.063
51	0.40	0.0192	0.1347	0.1154	0.0020	0.017	0.072	0.053	0.0010	0.0182	0.099	0.079
X	10.59											
S	9.22											
CS	1.346											
n	51		$\Delta_{\text{máx}}$	0.19188		0.07795		0.10286		0.07229		0.12150
α	0.05		$\Delta_{\text{crítico}} > \Delta_{\text{max}}$	No se ajusta		Si se ajusta		Si se ajusta		Si se ajusta		Si se ajusta
$\Delta_{\text{crítico}}$	0.18690		Mejor Ajuste	5		2		3		1		4

10. Tabla 21. Ajuste de Precipitaciones Máximas en 24 horas para diferentes periodos de retorno.

Promedio : $x = 10.59$ $y = 0.85$ Coeficiente de corrección de P_{max} por N° de lecturas (OMM)
 Desviación estándar : $s = 9.22$ $sy = 0.43$ $f(1 \text{ lecturas}) = 1.13$
 $Cs/6$: $k = 0.22$ $k = -0.12$

T (años)	$P(X \leq x_T)$	DISTRIB. LOG PEARSON III			P_{MAX} mm	P_{MAX} (corregida) mm
		K_T	X_t	10^{x_T}		
2	0.500	0.1162	0.9009	8.0	7.96	8.99
5	0.800	0.8551	1.2216	16.7	16.66	18.82
10	0.900	1.1813	1.3632	23.1	23.08	26.08
20	0.950	1.4219	1.4676	29.4	29.35	33.17
25	0.960	1.4873	1.4960	31.3	31.33	35.41
50	0.980	1.6633	1.5724	37.4	37.36	42.21
100	0.990	1.8078	1.6351	43.2	43.16	48.77
200	0.995	1.9291	1.6878	48.7	48.73	55.06
300	0.997	1.9915	1.7149	51.9	51.86	58.60
500	0.998	2.0627	1.7458	55.7	55.69	62.93
1000	0.999	2.1481	1.7828	60.6	60.65	68.53

11. Grafica N° 7: Regiones Hidrológicas del Perú



12. Tabla 22. Precipitaciones para Duraciones Menores de 24 Horas para diferentes Periodos de Retorno (mm).

ESTACIÓN: SANTA EULALIA										
DURACIÓN		PERÍODO DE RETORNO (años)								
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10.00	3.62	7.57	10.49	13.35	14.25	16.99	19.63	22.16	25.32
0.33	20.00	3.83	8.02	11.11	14.13	15.08	17.98	20.77	23.45	26.80
0.50	30.00	4.01	8.40	11.63	14.79	15.79	18.83	21.76	24.56	28.07
0.67	40.00	4.17	8.73	12.10	15.39	16.42	19.58	22.63	25.54	29.19
0.83	50.00	4.32	9.03	12.51	15.92	16.99	20.26	23.41	26.42	30.20
1.00	60.00	4.45	9.31	12.89	16.40	17.51	20.87	24.12	27.23	31.12
1.50	90.00	4.78	10.01	13.87	17.64	18.83	22.46	25.95	29.29	33.48
2.00	120.00	5.06	10.60	14.68	18.67	19.93	23.77	27.46	31.00	35.43
4.00	240.00	5.71	11.94	16.54	21.04	22.46	26.78	30.94	34.93	39.92
6.00	360.00	6.32	13.24	18.34	23.32	24.90	29.68	34.30	38.72	44.25
7.00	420.00	6.58	13.76	19.07	24.25	25.89	30.87	35.67	40.26	46.02
8.00	480.00	6.80	14.24	19.73	25.09	26.78	31.93	36.90	41.65	47.60
10.00	600.00	7.20	15.07	20.88	26.55	28.35	33.80	39.05	44.08	50.38
11.00	660.00	7.38	15.44	21.39	27.20	29.04	34.63	40.01	45.16	51.61
12.00	720.00	7.54	15.78	21.87	27.81	29.69	35.40	40.90	46.17	52.77
24.00	1440.00	8.99	18.82	26.08	33.17	35.41	42.21	48.77	55.06	62.93

13. Tabla 23. Intensidades para duraciones menores a 24 horas (mm/hr)

ESTACIÓN: SANTA EULALIA										
DURACIÓN		PERÍODO DE RETORNO (años)								
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10.00	5.43	11.36	15.74	20.02	21.37	25.48	29.44	33.24	37.99
0.33	20.00	4.60	9.62	13.33	16.95	18.10	21.57	24.93	28.14	32.16
0.50	30.00	4.01	8.40	11.63	14.79	15.79	18.83	21.76	24.56	28.07
0.67	40.00	3.58	7.48	10.37	13.19	14.08	16.79	19.39	21.89	25.02
0.83	50.00	3.24	6.77	9.39	11.94	12.74	15.19	17.55	19.82	22.65
1.00	60.00	2.97	6.20	8.60	10.93	11.67	13.92	16.08	18.15	20.74
1.50	90.00	2.39	5.01	6.94	8.82	9.42	11.23	12.97	14.64	16.74
2.00	120.00	2.03	4.24	5.87	7.47	7.97	9.51	10.98	12.40	14.17
4.00	240.00	1.43	2.99	4.14	5.26	5.62	6.69	7.74	8.73	9.98
6.00	360.00	1.05	2.21	3.06	3.89	4.15	4.95	5.72	6.45	7.37
7.00	420.00	0.94	1.97	2.72	3.46	3.70	4.41	5.10	5.75	6.57
8.00	480.00	0.85	1.78	2.47	3.14	3.35	3.99	4.61	5.21	5.95
10.00	600.00	0.72	1.51	2.09	2.66	2.83	3.38	3.90	4.41	5.04
11.00	660.00	0.67	1.40	1.94	2.47	2.64	3.15	3.64	4.11	4.69
12.00	720.00	0.63	1.32	1.82	2.32	2.47	2.95	3.41	3.85	4.40
24.00	1440.00	0.37	0.78	1.09	1.38	1.48	1.76	2.03	2.29	2.62

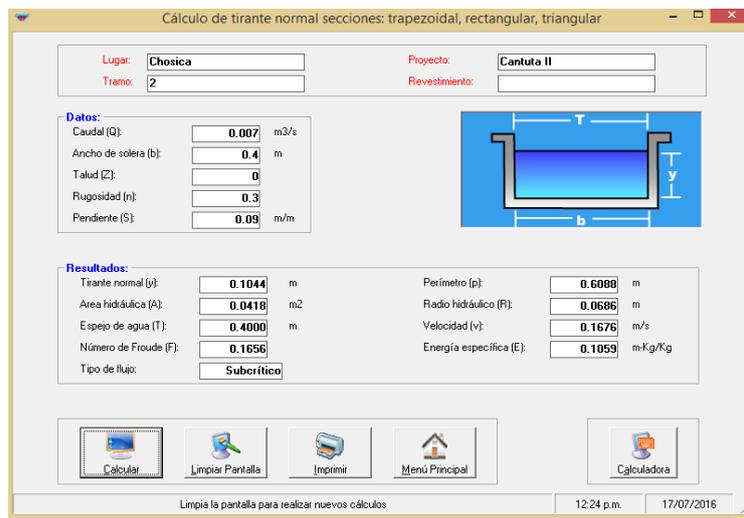
ANEXO 2

DISEÑO

1. **Figura N° 13 Diseño Hidráulico del Tramo 1 de Zanjas de Infiltración**



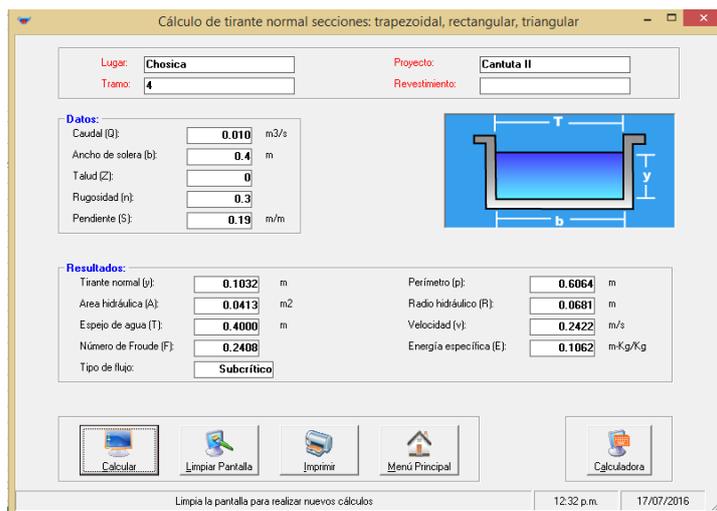
2. **Figura N° 14 Diseño Hidráulico del Tramo 2 de Zanjas de Infiltración**



3. **Figura N° 15 Diseño Hidráulico del Tramo 3 de Zanjas de Infiltración**



4. **Figura N° 16 Diseño Hidráulico del Tramo 4 de Zanjas de Infiltración**



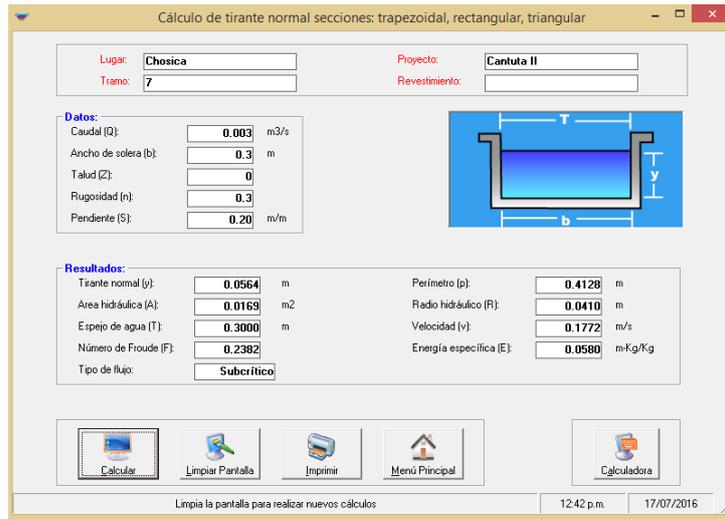
5. **Figura N° 17 Diseño Hidráulico del Tramo 5 de Zanjas de Infiltración**



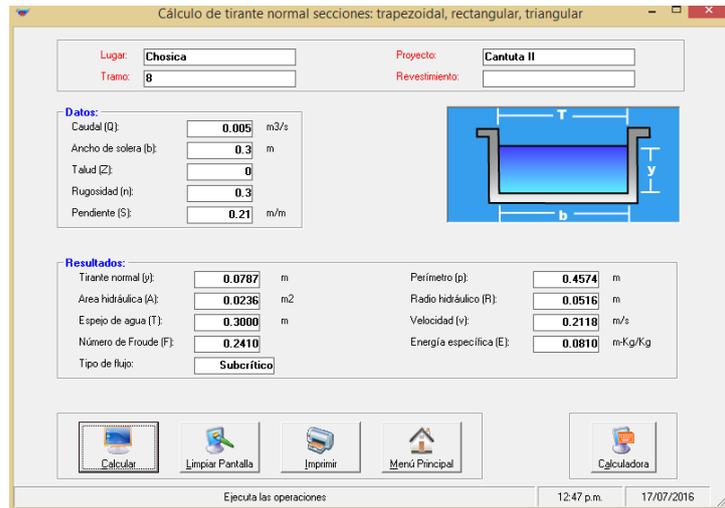
6. **Figura N° 18 Diseño Hidráulico del Tramo 6 de Zanjas de Infiltración**



7. **Figura N° 19 Diseño Hidráulico del Tramo 7 de Zanjas de Infiltración**



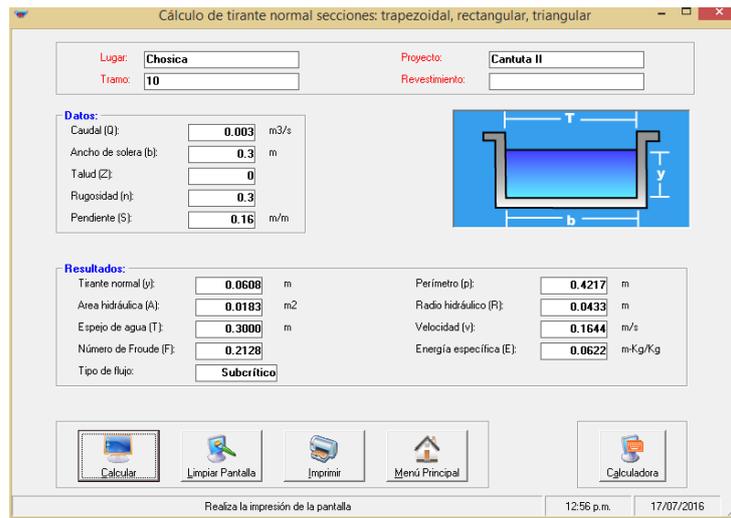
8. **Figura N° 20 Diseño Hidráulico del Tramo 8 de Zanjas de Infiltración**



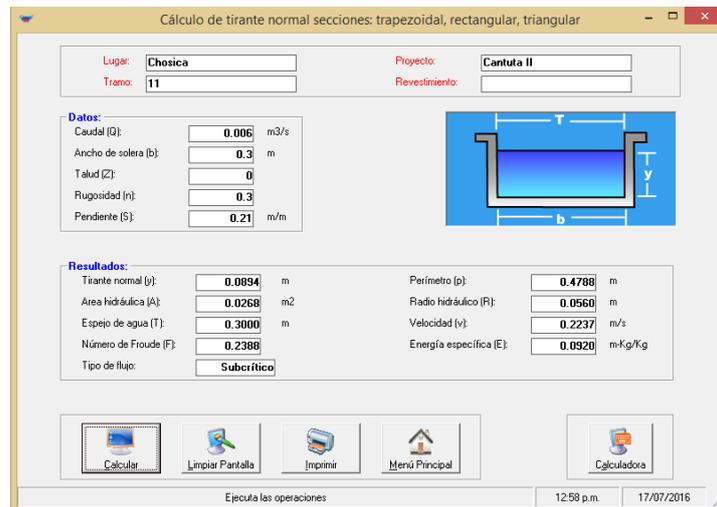
9. **Figura N° 21 Diseño Hidráulico del Tramo 9 de Zanjas de Infiltración**



10. **Figura N°22 Diseño Hidráulico del Tramo 10 de Zanjas de Infiltración**



11. **Figura N° 23 Diseño Hidráulico del Tramo 11 de Zanjas de Infiltración**



12. **Figura N° 24 Diseño Hidráulico del Tramo 12 de Zanjas de Infiltración**



13. Cálculo para el Diseño de Muro de Pirca de 2 m.

MURO DE GRAVEDAD

Proyecto : Muros de Pirca para la Estabilización de la Quebrada Cantuta II

Ubicación : Chosica

Sección : M H=2 m

1.- Dimensionamiento

Datos iniciales

Peso esp suelo	$\gamma_s =$	1,600.00	kg/m ³
Peso esp del material del muro	$\gamma_c =$	1,700.00	kg/m ³
Angulo fricción interna del relleno	$\phi =$	31.00	°
		0.54	rad
Angulo del relleno con la horizontal	$\varepsilon =$	0.00	°
		0.00	rad
Resistencia del suelo	$\sigma =$	4.07	kg/cm ²
Cohesión del suelo	$C =$	0.16	

Coef empuje activo	$K_{a_c} =$	0.26
--------------------	-------------	------

Altura total	$H =$	2.00	m
Sobre carga	$s/c =$	0.00	kg/m

	$b/(H+hs)$	$k_a * \gamma_s$	Interpolacion
$hs =$	0.00		
$k_a * \gamma_s =$	416.00		
$B/(H+hs) =$	0.45		
$B =$	0.89		
Valor a usar			
$B =$	1.50		
	0.30	204.00	
	0.35	269.00	
	0.40	343.00	0.45
	0.45	423.00	
	0.50	512.00	
	0.55	605.00	
	0.60	715.00	
	0.65	830.00	

ALTURA TOTAL

ALTURA TOTAL	$H =$	2.000	m
--------------	-------	-------	---

SECCIÓN RECTANGULAR (Zapata)

Base	$B =$	1.500	m
peralte	$h_B =$	0.300	m

SECCIÓN TRAPEZOIDAL (Muro)

BASE MENOR	$a =$	0.200
------------	-------	-------

BASE MAYOR	$b_m =$	1.500	m	}	$H/12 =$	0.17
ALTURA	$h =$	1.700	m		$H/10 =$	0.20
Base Triangulo Izquierdo (b_i)	$b_i =$	0.350	m		$b_{m-a} =$	1.30
Base Triangulo Derecho (b_d)	$b_d =$	0.350	m			

Talones

Talón anterior (Izquierdo)	$L_{ti} =$	0.300	m
Talón posterior (derecho)	$L_{td} =$	0.300	m

Sardiné superior

Ancho	$a_p =$	0.000	m
Alto	$h_p =$	0.000	m

Datos de entrada

2.- CALCULOS INICIALES

AREA Y CENTRO DE GRAVEDAD

2.1.1- Para el muro

ELEMENTO	AREA (A)	CENTRO DE GRAVEDAD			
		X	Y	X*A	Y*A
1	0.30	0.53	0.87	0.16	0.26
Sardiné	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00
2	0.34	0.75	1.15	0.26	0.39
3	0.30	0.97	0.87	0.29	0.26
4	0.45	0.75	0.15	0.34	0.07
TOTAL	1.39			1.04	0.97

$A =$	1.385	m ²
$X_g =$	0.750	m
$Y_g =$	0.703	m

2.1.1- Para el relleno

ELEMENTO	AREA (A)	CENTRO DE GRAVEDAD			
		X	Y	X*A	Y*A
0	1.11	1.18	1.15	1.30	1.27
5	0.00	1.28	2.00	0.00	0.00
3	0.30	0.97	0.87	0.29	0.26
TOTAL	0.81			1.01	1.01

$A_r =$	0.808	m ²
$X_{rg} =$	1.252	m
$Y_{rg} =$	1.254	m

3.- ANALISIS DE ESTABILIDAD

Para 1.00m de muro

AREA TRANSVERSAL DEL MURO	$A =$	1.39	m ²
AREA DE RELLENO	$A_r =$	0.81	m ²
CG muro	$x_g =$	0.750	m
	$y_g =$	0.703	m

CG relleno	x1g =	1.252	m
	y1g =	1.254	m

Calculo del empuje activo

Empuje activo	E _a =	831.674	kg
---------------	------------------	---------	----

3.1.- Calculo de los esfuerzos

Peso

Peso de la estructura	w =	2,354.500	kg
Brazo	xg =	0.750	m
Momento	Mw =	1,765.875	kg-m

Relleno

Peso del relleno	W _{5,6} =	1,292.000	kg
Brazo	Xrg =	1.252	m
Momento	MW _{5,6} =	1,617.267	kg-m

Relleno

Sobrecarga	S/C =	0.000	kg
Brazo	X _{S/C} =	1.175	m
Momento	MW _{5,6} =	0.000	kg-m

Fuerzas resistentes

Coefficiente de fricción en la base	μ =	0.600	
Fuerzas resistentes norma a la base	N =	3,646.500	

	MR =	3,383.142	kg-m
--	------	-----------	------

Fuerzas actuantes

Fza paralela a la base	Fa1 =	831.674	kg
------------------------	-------	---------	----

Altura de aplicación del empuje	d =	0.567	m
	MEH =	471.282	kg-m

3.2.- Seguridad contra el deslizamiento

Factor de seguridad contra el deslizam.	η' =	2.631	Bien
---	------	-------	------

3.3.- Seguridad contra el volcamiento

Factor de Seguridad contra el volcamiento	η" =	7.179	Bien
---	------	-------	------

3.4.- Verificación de las tensiones transmitidas al suelo

Excentricidad	e =	-0.049	m
Verificación de paso de la resultante por el tercio medio	B/6 =	0.250	Bien

Presión max suelo de fundación	σ1 =	0.196	kg/cm ²	Bien	3.874	kg/cm ²
Presión min suelo de fundación	σ2 =	0.290	kg/cm ²	Bien	3.780	kg/cm ²
		0.290	kg/cm ²			

14. Cálculo para el Diseño de Muro de Pirca de 3 m.

MURO DE GRAVEDAD

Proyecto : Muros de Pirca para la Estabilización de la Quebrada Cantuta II

Ubicación : Chosica

Sección : M H=3 m

1.- Dimensionamiento

Datos iniciales

Peso esp suelo	$\gamma_s =$	1,600.00	kg/m ³
Peso esp del material del muro	$\gamma_c =$	1,700.00	kg/m ³
Angulo fricción interna del relleno	$\phi =$	31.00 °	
		0.54	rad
Angulo del relleno con la horizontal	$\varepsilon =$	0.00 °	
		0.00	rad
Resistencia del suelo	$\sigma =$	4.07	kg/cm ²
Cohesión del suelo	$C =$	0.16	

Coef empuje activo	$K_{ac} =$	0.26
--------------------	------------	------

Altura total	$H =$	3.00	m
Sobre carga	$s/c =$	0.00	kg/m

	$b/(H+hs)$	$k_a * g_s$	Interpolacion
$hs =$	0.00	0.30	204.00
$k_a * g_s =$	416.00	0.35	269.00
$B/(H+hs) =$	0.45	0.40	343.00
$B =$	1.34	0.45	423.00
Valor a usar		0.50	512.00
$B =$	3.00	0.55	605.00
		0.60	715.00
		0.65	830.00

ALTURA TOTAL

ALTURA TOTAL	$H =$	3.000	m
--------------	-------	-------	---

SECCIÓN RECTANGULAR (Zapata)

Base	$B =$	2.900	m
peralte	$h_B =$	0.450	m

SECCIÓN TRAPEZOIDAL (Muro)

BASE MENOR	$a =$	0.400	
BASE MAYOR	$b_m =$	2.900	m
ALTURA	$h =$	2.550	m
Base Triangulo Izquierdo (bi)	$b_i =$	0.800	m

$H/12 =$	0.25
$H/10 =$	0.30
$b_m - a =$	2.50

Base Triangulo Derecho (bd)	$b_d =$	0.800 m
-----------------------------	---------	---------

Talones

Talon anterior (Izquierdo)	$L_{ti} =$	0.450 m
Talon posterior (derecho)	$L_{td} =$	0.450 m

Sardinel superior

Ancho	$a_p =$	0.000 m
Alto	$h_p =$	0.000 m

2.- CALCULOS INICIALES

AREA Y CENTRO DE GRAVEDAD

2.1.1- Para el muro

ELEMENTO	AREA (A)	CENTRO DE GRAVEDAD			
		X	Y	X*A	Y*A
1	1.02	0.98	1.30	1.00	1.33
Sardinel	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00
2	1.02	1.45	1.73	1.48	1.76
3	1.02	1.92	1.30	1.96	1.33
4	1.31	1.45	0.23	1.89	0.29
TOTAL	4.37			6.33	4.71

$A =$	4.365 m ²
$X_g =$	1.450 m
$Y_g =$	1.078 m

2.1.1- Para el relleno

ELEMENTO	AREA (A)	CENTRO DE GRAVEDAD			
		X	Y	X*A	Y*A
0	3.19	2.28	1.73	7.25	5.50
5	0.00	2.48	3.00	0.00	0.00
3	1.02	1.92	1.30	1.96	1.33
TOTAL	2.17			5.30	4.17

$A_r =$	2.168 m ²
$X_{rg} =$	2.444 m
$Y_{rg} =$	1.925 m

3.- ANALISIS DE ESTABILIDAD

Para 1.00m de muro

AREA TRANSVERSAL DEL MURO	$A =$	4.37 m ²
AREA DE RELLENO	$A_r =$	2.17 m ²
CG muro	$x_g =$	1.450 m
	$y_g =$	1.078 m
CG relleno	$x_{1g} =$	2.444 m
	$y_{1g} =$	1.925 m

Calculo del empuje activo

Empuje activo	$E_a =$	1,871.510	kg
---------------	---------	-----------	----

3.1.- Calculo de los esfuerzos

Peso

Peso de la estructura	$w =$	7,420.500	kg
Brazo	$x_g =$	1.450	m
Momento	$M_w =$	10,759.725	kg-m

Relleno

Peso del relleno	$W_{5,6} =$	3,468.000	kg
Brazo	$X_{rg} =$	2.444	m
Momento	$M_{W_{5,6}} =$	8,474.500	kg-m

Relleno

Sobrecarga	$S/C =$	0.000	kg
Brazo	$X_{S/C} =$	2.275	m
Momento	$M_{W_{5,6}} =$	0.000	kg-m

Fuerzas resistentes

Coefficiente de friccion en la base	$\mu =$	0.600
Fuerzas resistentes norma a la base	$N =$	10,888.500

	$MR =$	19,234.225	kg-m
--	--------	------------	------

Fuerzas actuantes

Fza paralela a la base	$F_{a1} =$	1,871.510	kg
------------------------	------------	-----------	----

Altura de aplicación del empuje	$d =$	0.850	m
	$MEH =$	1,590.784	kg-m

3.2.- Seguridad contra el deslizamiento

Factor de seguridad contra el deslizam.	$\eta' =$	3.491	Bien
---	-----------	-------	------

3.3.- Seguridad contra el volcamiento

Factor de Seguridad contra el volcamiento	$\eta'' =$	12.091	Bien
---	------------	--------	------

3.4.- Verificacion de las tensiones transmitidas al suelo

Excentricidad	$e =$	-0.170	m
Verificación de paso de la resultante por el tercio medio	$B/6 =$	0.483	Bien

Presión max suelo de fundación	$\sigma_1 =$	0.243	kg/cm ²	Bien
Presión min suelo de fundación	$\sigma_2 =$	0.508	kg/cm ²	Bien

	3.827	kg/cm ²
	3.562	kg/cm ²

ANEXO 3

PANEL FOTOGRAFICO



Foto N° 1: Quebrada Cantuta II



Foto N° 2: Cauce de quebrada Cantuta II



Foto N° 3: Limite entre la UNE y sector privado, al fondo la quebrada Cantuta II



Foto N° 4: Cono de escombros y depósitos aluviales de la quebrada Cantuta II



Foto N° 5: Último tramo del cauce de la quebrada – (Microcuenca Baja)



Foto N° 6: Entrada al cono de deyección (Instalaciones de la UNE)



Foto N° 7: Resto del Flujo de Escombros del Huayco en el 2015 en las instalaciones de la UNE (pista de ingreso)



Foto N° 8: Resto del Flujo de Escombros del Huayco en el 2015 al ingreso de la Facultad Educación Física



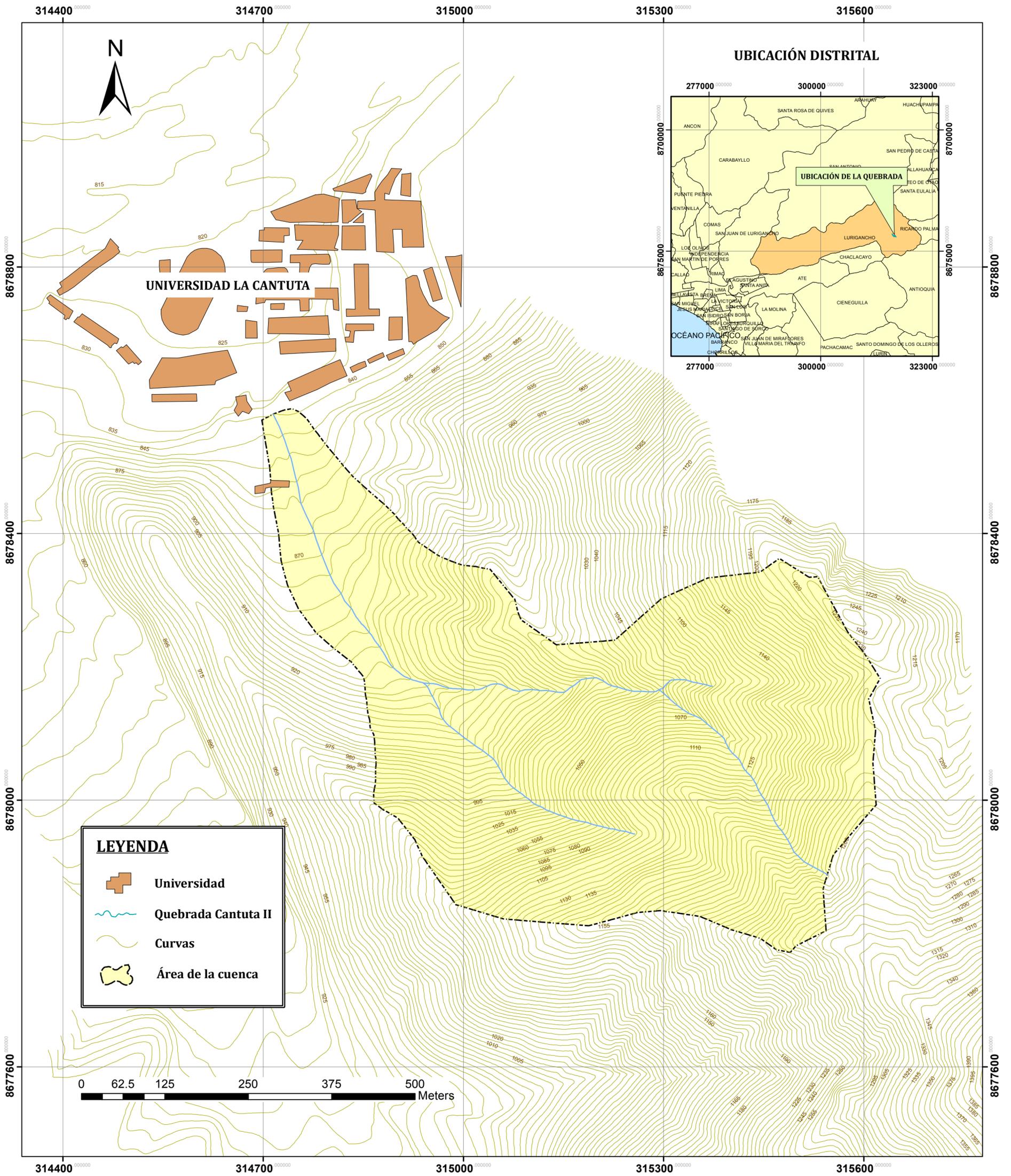
Foto N° 9: Inundación de la Facultad de Educación Física debido al huayco.



Foto N° 9: Inundación de la Facultad de Tecnología debido al huayco.

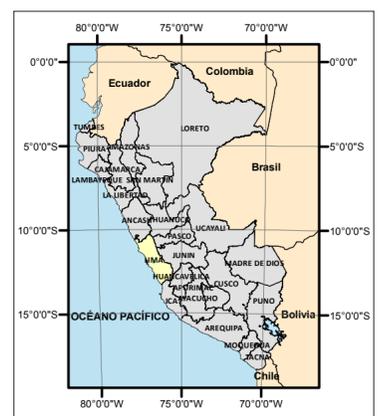
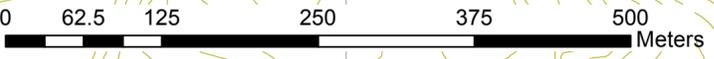
ANEXO 4

PLANOS



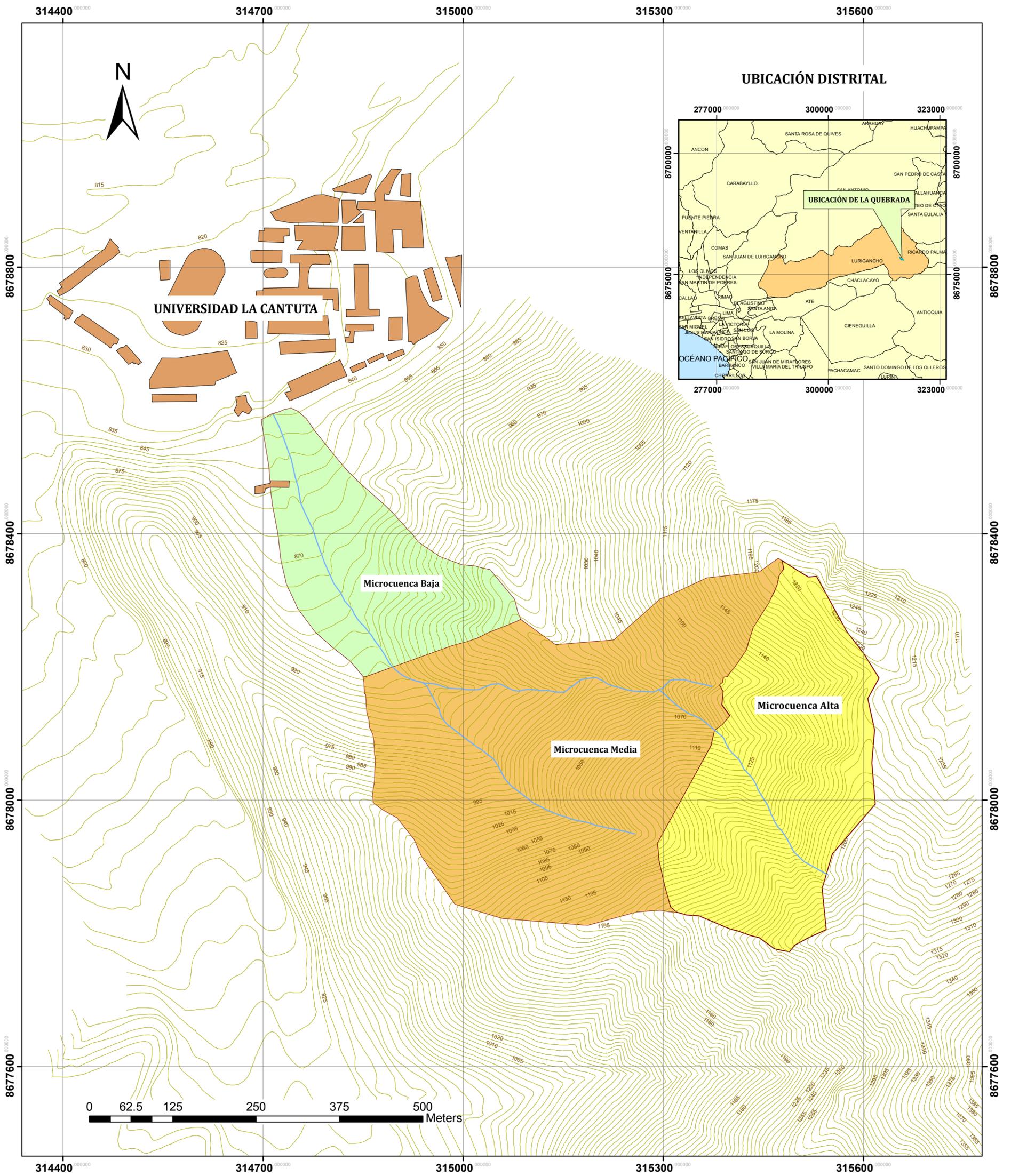
LEYENDA

-  Universidad
-  Quebrada Cantuta II
-  Curvas
-  Área de la cuenca



UBICACIÓN NACIONAL

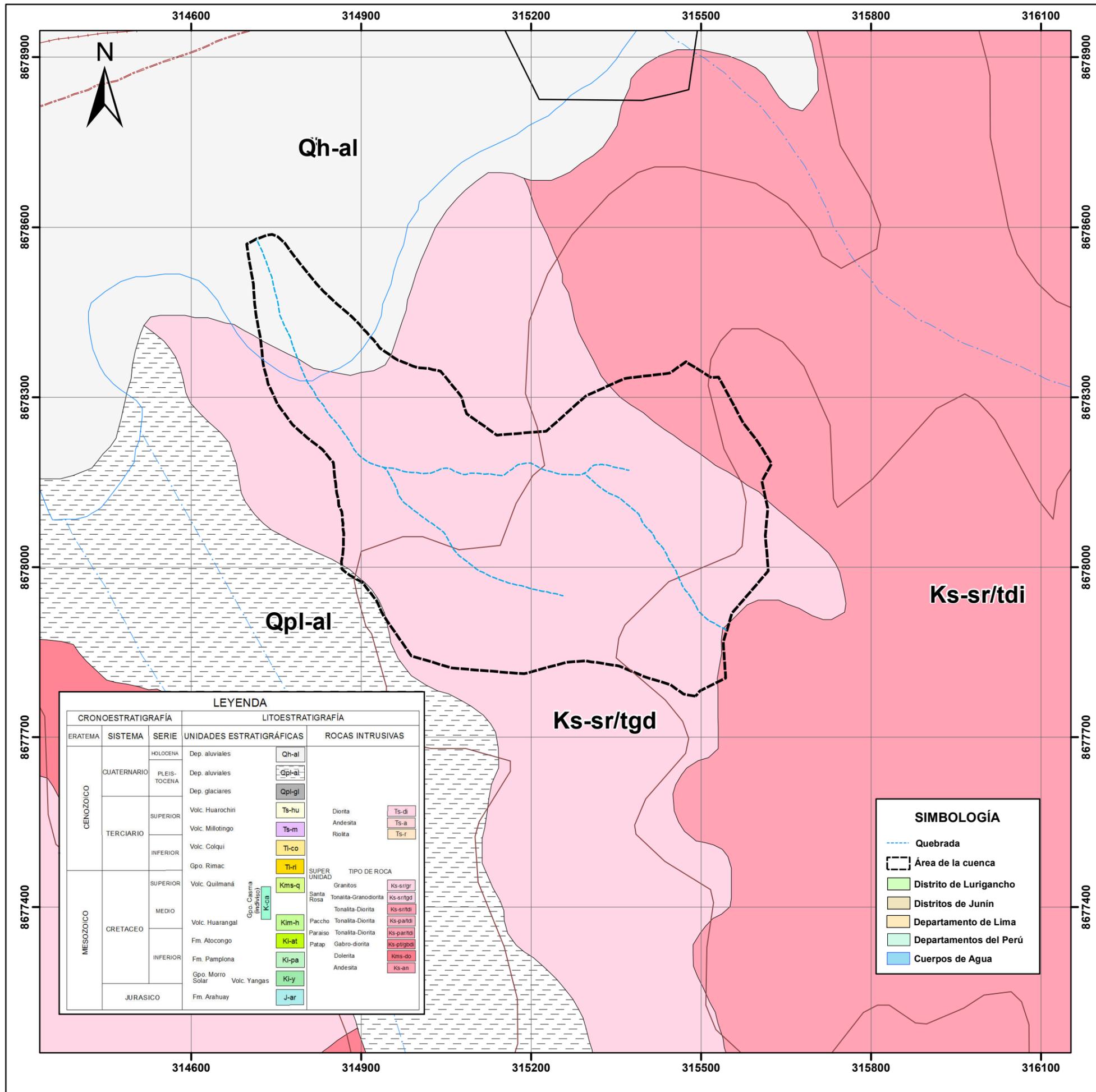
 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA 	
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA	
PROYECTO: ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA QUEBRADA CANTUTA ICON FINES DE MITIGACIÓN DE HUAYCOS	
PLANO: TOPOGRAFICO Y UBICACIÓN DEL PROYECTO	
UBICACIÓN: UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN LA CANTUTA – DISTRITO LURIGANCHO – CHOSICA PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LIMA	
LAMINA:	
P-1	
TESISTA: RUT LUZMILA GARCIA CHACA	ESCALA: 1/4000



Leyenda

- Quebrada
- Universidad
- Microcuenca Baja
- Microcuenca Media
- Microcuenca Alta
- Curvas

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA		
PROYECTO: ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA QUEBRADA CANTUTA I CON FINES DE MITIGACIÓN DE HUAYCOS		
PLANO: MICROCUCENAS ALTA MEDIA Y BAJA FORMADOS POR LA QUEBRADA CANTUTA II		
UBICACIÓN: UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN LA CANTUTA – DISTRITO LURIGANCHO – CHOSICA PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LIMA		LAMINA:
TESISISTA: RUT LUZMILA GARCIA CHACA	ESCALA: 1/4000	P-2

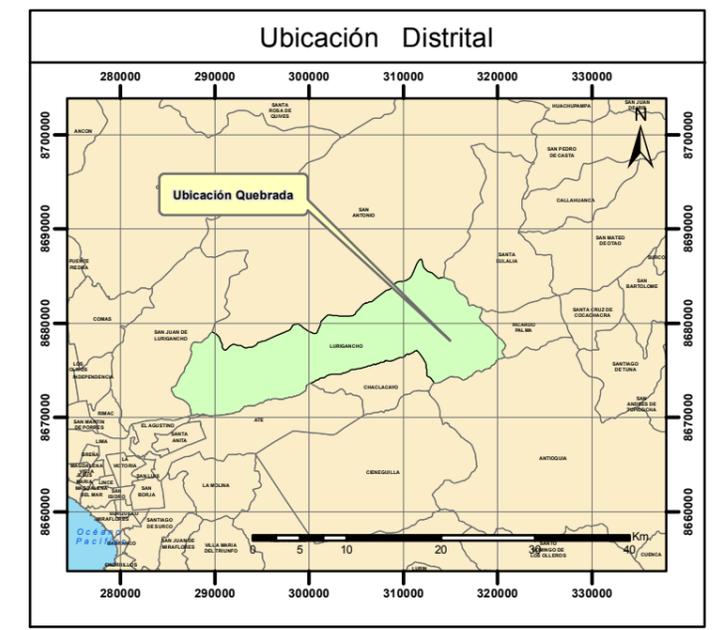
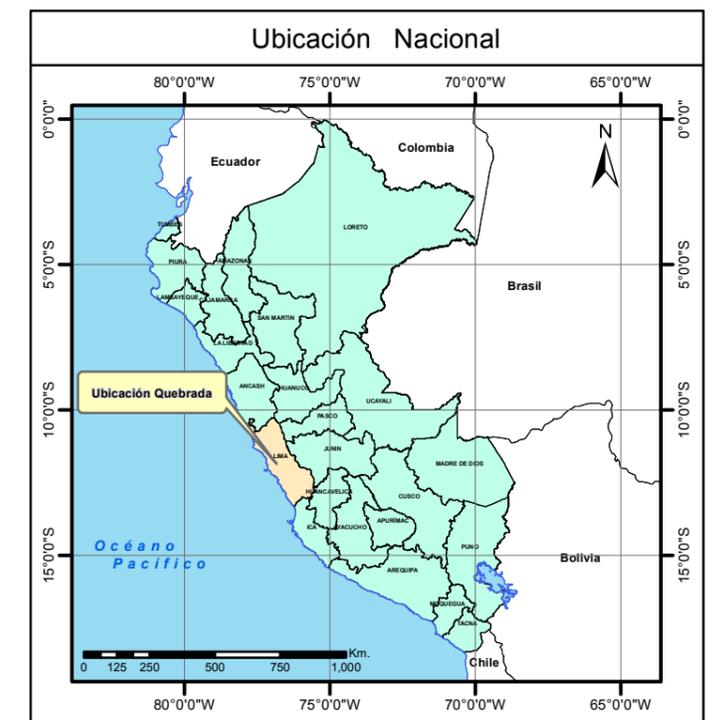


LEYENDA

CRONOESTRATIGRAFÍA			LITOESTRATIGRAFÍA		
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS	ROCAS INTRUSIVAS	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENA	Dep. aluviales	Qh-al	
		PLEIS-TOCENA	Dep. aluviales	Qpl-al	
			Dep. glaciares	Qpl-gl	
	TERCIARIO	SUPERIOR	Volc. Huarochiri	Ts-hu	Diorita Ts-di
			Volc. Millotingo	Ts-m	Andesta Ts-a
		INFERIOR	Volc. Colqui	Ti-co	Riolita Ts-r
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	Gpo. Rimac	Ti-ri	
		MEDIO	Volc. Quilmaná	Kms-q	Granitos Ks-srigr
		INFERIOR	Fm. Atocongo	Kim-h	Santa Rosa Tonalita-Granodiorita Ks-srtdg
	JURASICO		Fm. Pamplona	Ki-pa	Tonalita-Diorita Ks-srtdi
			Gpo. Morro Solar	Ki-y	Paccho Tonalita-Diorita Ks-patdi
			Fm. Arahuary	J-ar	Paraiso Tonalita-Diorita Ks-partdi

SIMBOLOGÍA

- Quebrada
- Área de la cuenca
- Distrito de Lurigancho
- Distritos de Junín
- Departamento de Lima
- Departamentos del Perú
- Cuerpos de Agua





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



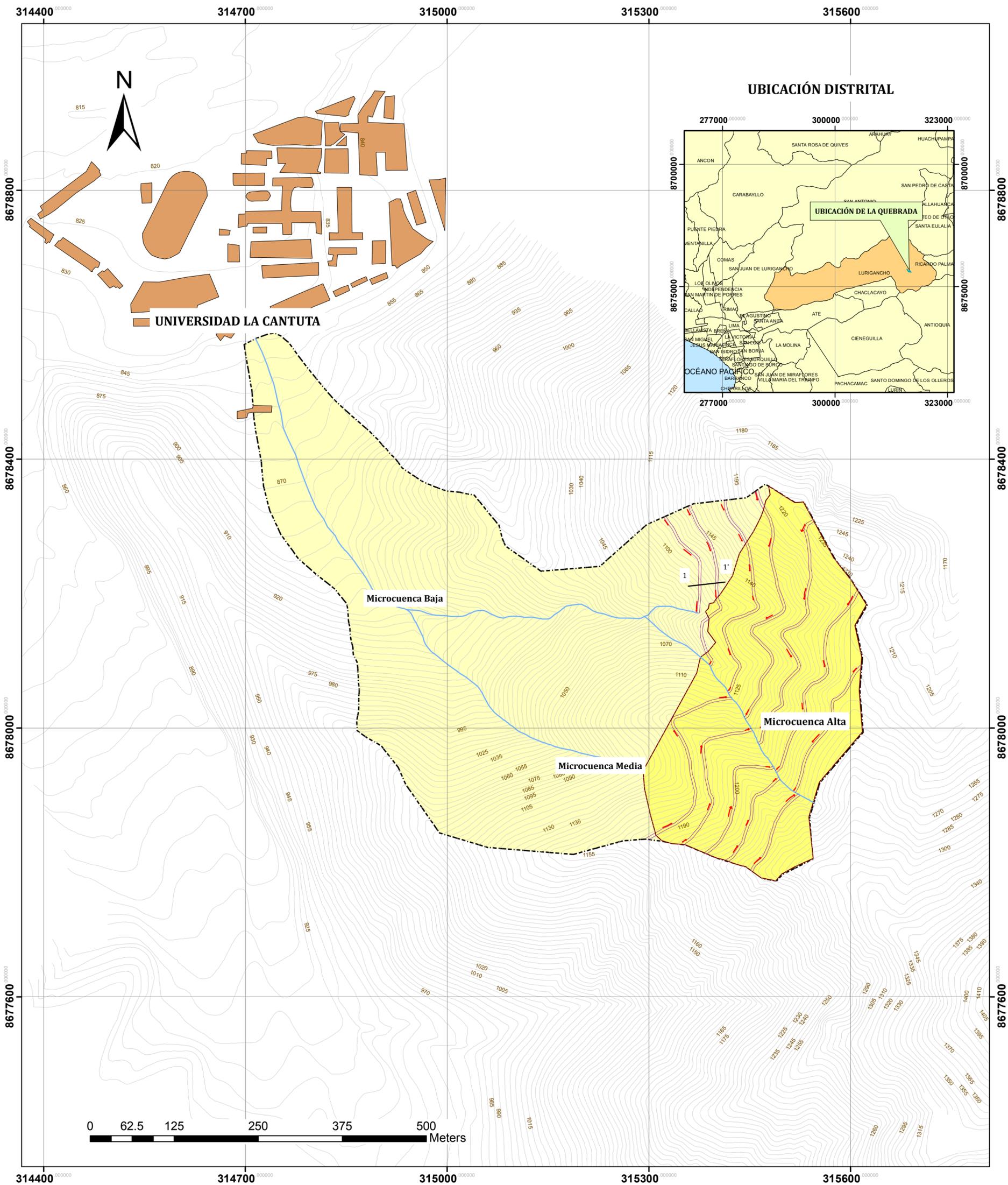
PROYECTO: **ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA QUEBRADA CANTUTA II CON FINES DE MITIGACIÓN DE HUAYCOS**

PLANO: **GEOLÓGICO DE LA QUEBRADA CANTUTA II**

UBICACIÓN: **UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN LA CANTUTA – DISTRITO LURIGANCHO – CHOSICA PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LIMA**

TESISTA: **RUT LUZMILA GARCIA CHACA** ESCALA: **1/7000**

P-3



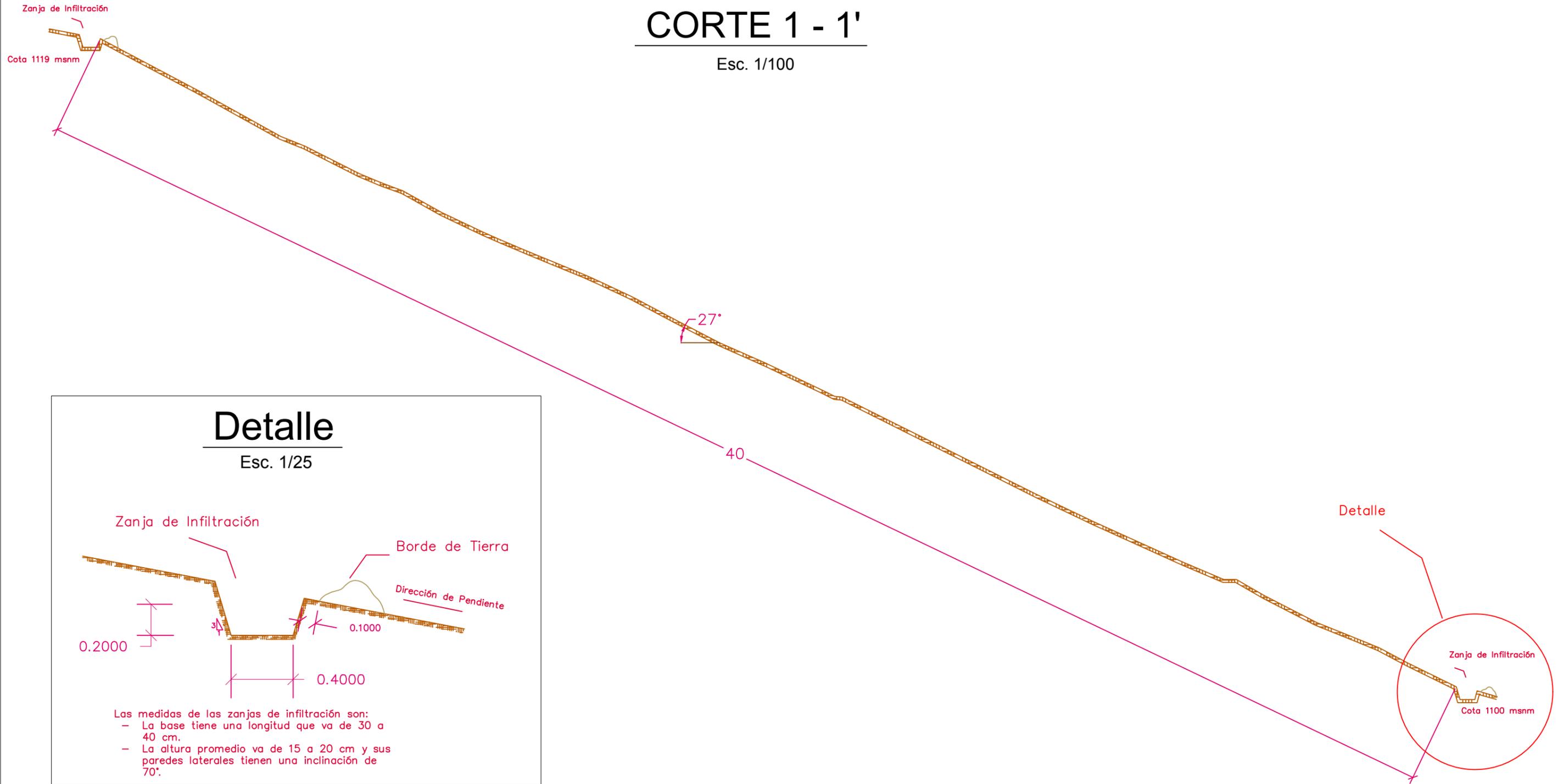
Legenda

- Sentido de Zanja
- Zanjas de Infiltración
- Universidad
- Quebrada
- Curvas de Nivel
- Micro cuenca Alta

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA	
PROYECTO: ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA QUEBRADA CANTUTA ICON FINES DE MITIGACIÓN DE HUAYCOS	
PLANO: TRAZO DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN EN LA MIDROCUECNA ALTA DE LA OUEBRADA CANTUTA II	
UBICACIÓN: UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN LA CANTUTA – DISTRITO LURIGANCHO – CHOSICA PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LIMA	
TESISTA: RUT LUZMILA GARCIA CHACA	ESCALA: 1/4000
LAMINA: P-4	

CORTE 1 - 1'

Esc. 1/100



Detalle

Esc. 1/25

Zanja de Infiltración

Borde de Tierra

Dirección de Pendiente

0.2000

0.1000

0.4000

- Las medidas de las zanjas de infiltración son:
- La base tiene una longitud que va de 30 a 40 cm.
 - La altura promedio va de 15 a 20 cm y sus paredes laterales tienen una inclinación de 70°.

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA	
PROYECTO: ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA QUEBRADA CANTUTA II CON FINES DE MITIGACIÓN DE HUAYCOS		
PLANO: CORTE 1 -1' - ZANJA DE INFILTRACIÓN		
UBICACIÓN: UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN LA CANTUTA - DISTRITO LURIGANCHO - CHOSICA - PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LIMA		LAMINA: P-5
TESISTA: RUT LUZMILA GARCIA CHACA	ESCALA: INDICADA	

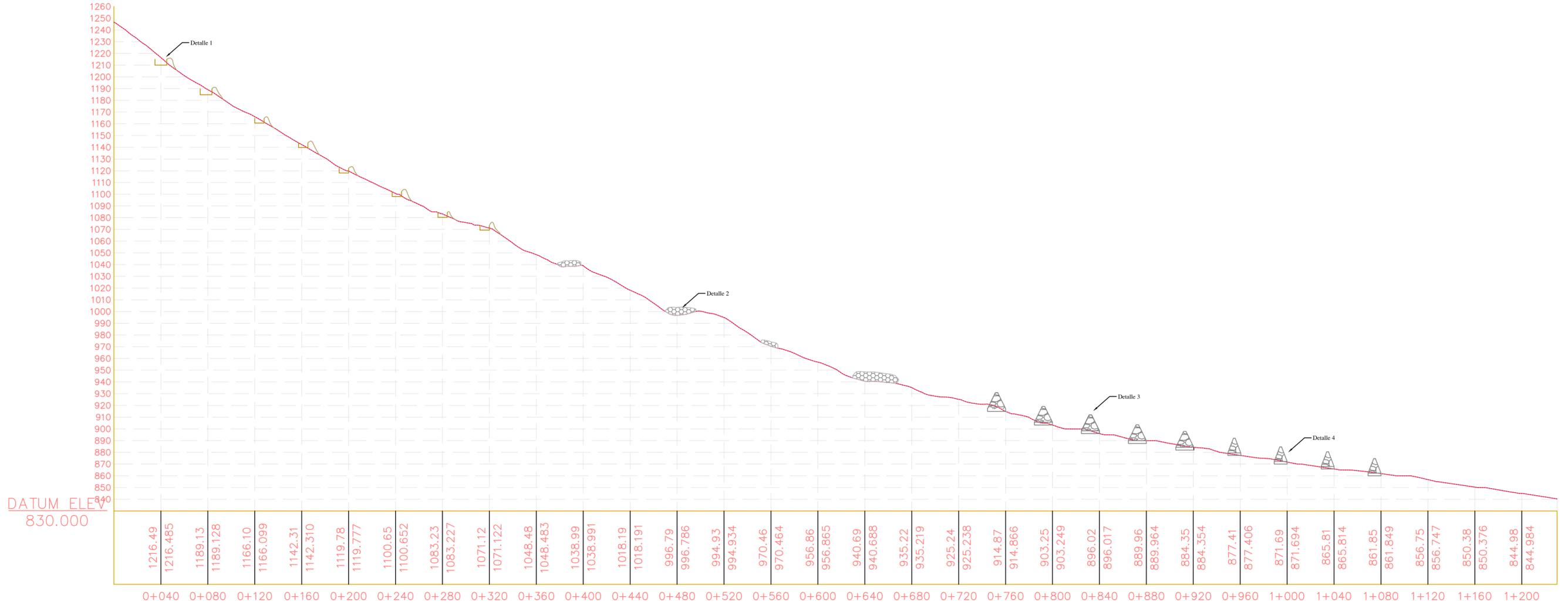


LEYENDA

-  Curvas de Nivel
-  Alineamiento
-  Delimitación de la Cuenca

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA	
PROYECTO: ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA QUEBRADA CANTUTA II CON FINES DE MITIGACIÓN DE HUAYCOS		
PLANO: ALINEAMIENTO DEL CAUCE DE LA QUEBRADA CANTUTA II		
UBICACIÓN: UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN LA CANTUTA - DISTRITO LURIGANCHO - CHOSICA - PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LIMA		LAMINA: P-6
TESISTA: RUT LUZMILA GARCIA CHACA		ESCALA: 1/7500

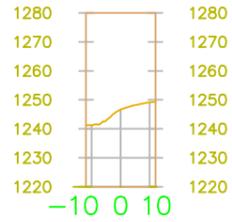
Esc. 1/100



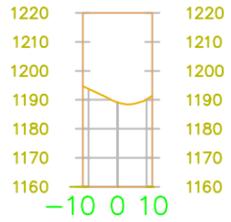
Esc. 1/1000

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA		
PROYECTO: ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA QUEBRADA CANTUTA II CON FINES DE MITIGACIÓN DE HUAYCOS		
PLANO: PERFIL LONGITUDINAL Y UBICACIÓN DE LOS MECANISMOS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA QUEBRADA CANTUTA II		
UBICACIÓN: UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN LA CANTUTA - DISTRITO LURIGANCHO - CHOSICA - PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LIMA		LAMINA:
TESISISTA: RUT LUZMILA GARCIA CHACA		ESCALA: INDICADA
		P-7

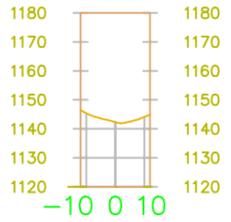
0+000.00



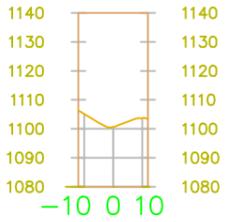
0+080.00



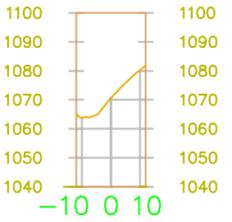
0+160.00



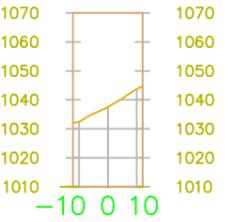
0+240.00



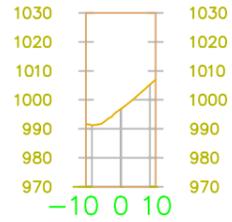
0+320.00



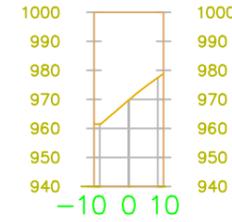
0+400.00



0+480.00



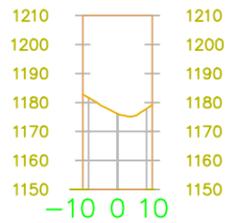
0+560.00



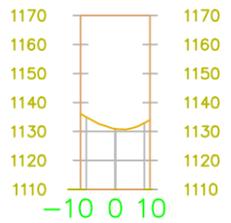
0+020.00



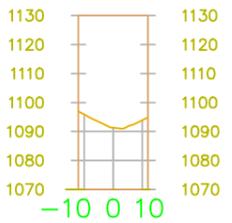
0+100.00



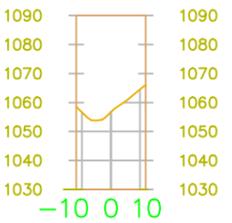
0+180.00



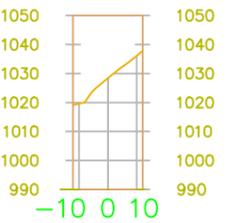
0+260.00



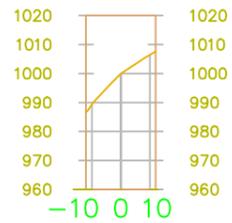
0+340.00



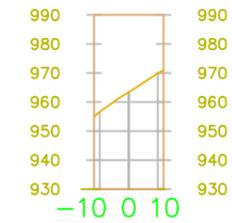
0+420.00



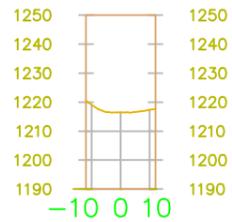
0+500.00



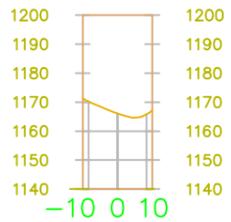
0+580.00



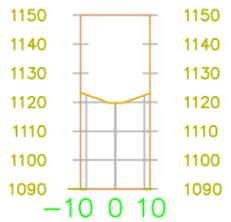
0+040.00



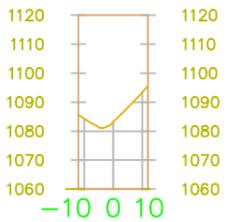
0+120.00



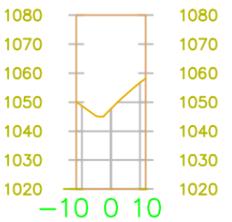
0+200.00



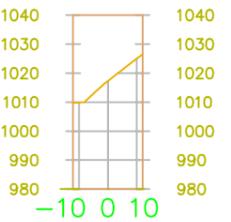
0+280.00



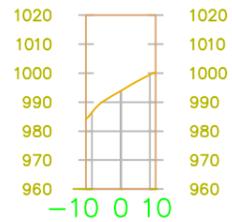
0+360.00



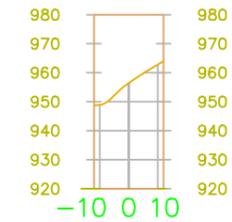
0+440.00



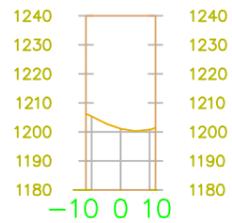
0+520.00



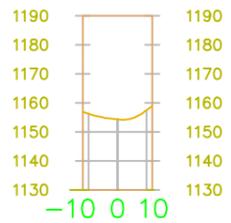
0+600.00



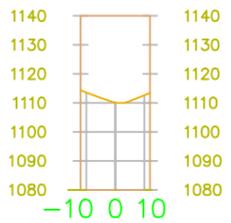
0+060.00



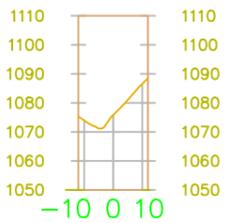
0+140.00



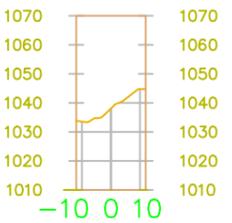
0+220.00



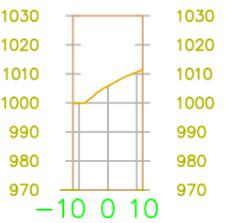
0+300.00



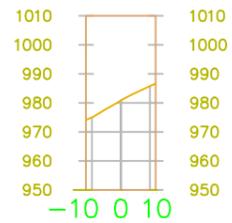
0+380.00



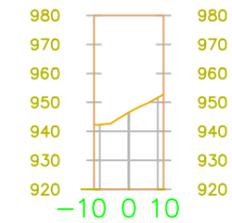
0+460.00



0+540.00

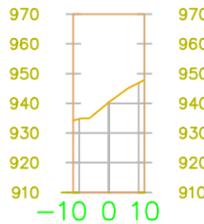


0+620.00

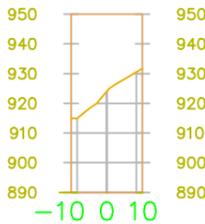


 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA		
PROYECTO: ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA QUEBRADA CANTUTA II CON FINES DE MITIGACIÓN DE HUAYCOS		
PLANO: CORTES TRANSVERSALES DE LA QUEBRADA CANTUTA II PROGRESIVA 0+000 - 0+620		
UBICACIÓN: UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN LA CANTUTA - DISTRITO LURIGANCHO - CHOSICA - PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LIMA		LÁMINA:
TESISISTA: RUT LUZMILA GARCIA CHACA		ESCALA: 1/2500
		P-8

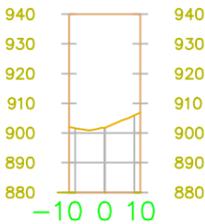
0+640.00



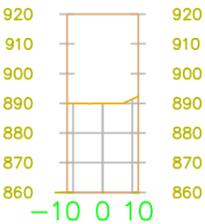
0+720.00



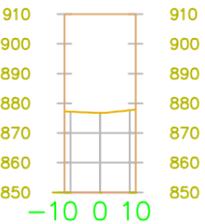
0+800.00



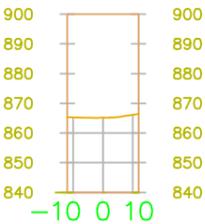
0+880.00



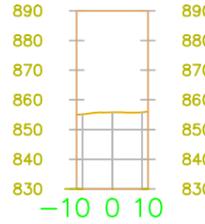
0+960.00



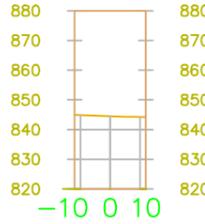
1+040.00



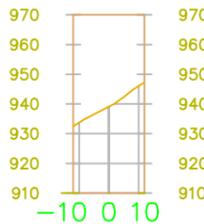
1+120.00



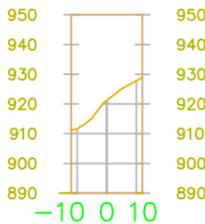
1+200.00



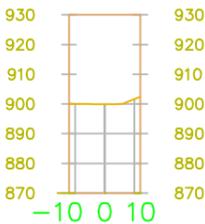
0+660.00



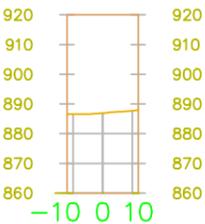
0+740.00



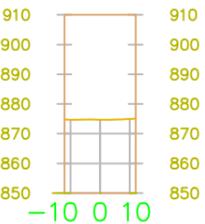
0+820.00



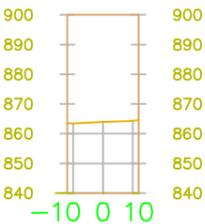
0+900.00



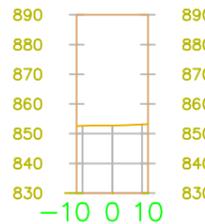
0+980.00



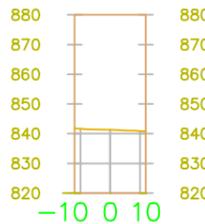
1+060.00



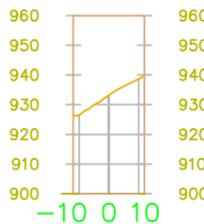
1+140.00



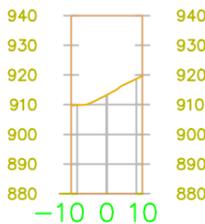
1+220.00



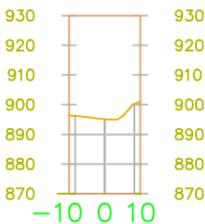
0+680.00



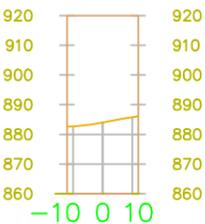
0+760.00



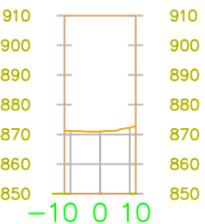
0+840.00



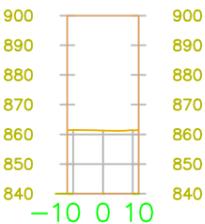
0+920.00



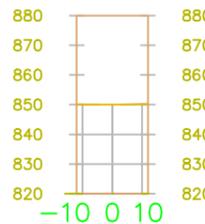
1+000.00



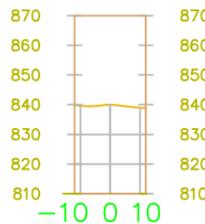
1+080.00



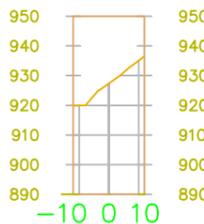
1+160.00



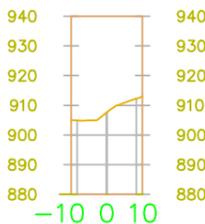
1+230.09



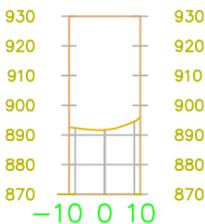
0+700.00



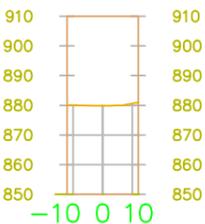
0+780.00



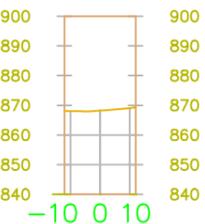
0+860.00



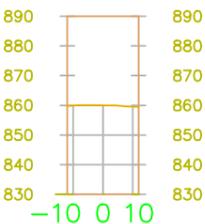
0+940.00



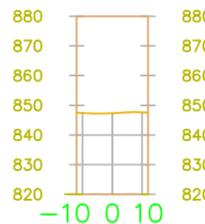
1+020.00



1+100.00



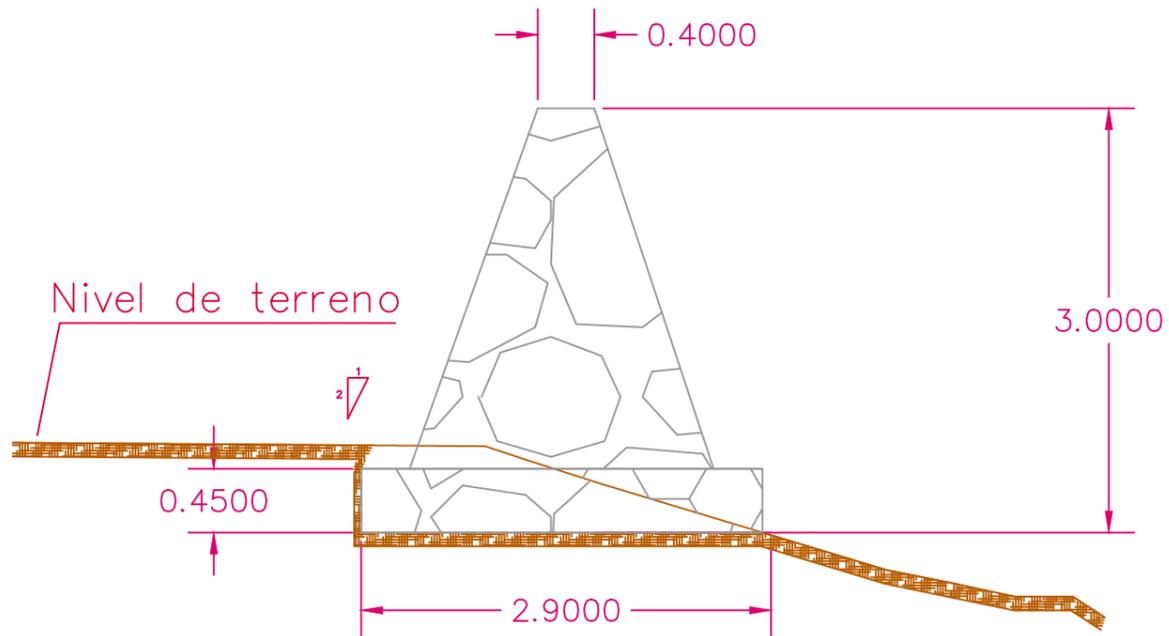
1+180.00



 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA		
PROYECTO: ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA QUEBRADA CANTUTA II CON FINES DE MITIGACIÓN DE HUAYCOS PLANO: CORTES TRANSVERSALES DE LA QUEBRADA CANTUTA II PROGRESIVA 0+640 - 1+180		
UBICACIÓN: UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN LA CANTUTA - DISTRITO LURIGANCHO - CHOSICA - PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LIMA		LAMINA:
TESISTA: RUT LUZMILA GARCIA CHACA	ESCALA: 1/2500	P-9

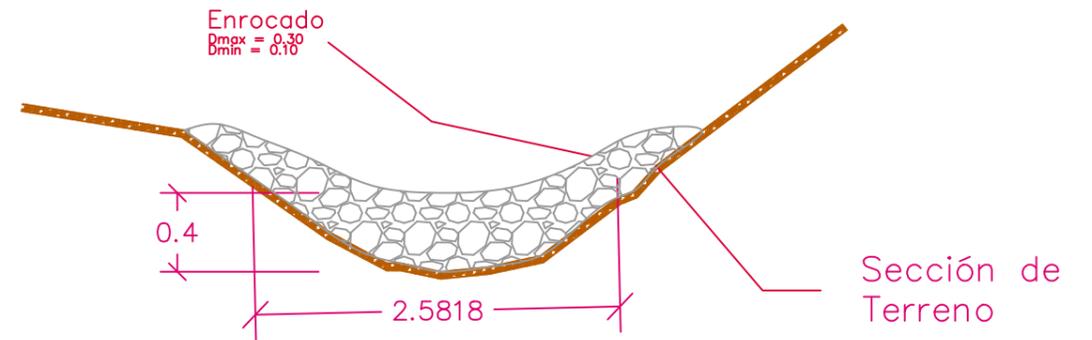
Sección Típica 1

Esc. 1/50



Sección Típica 3

Esc. 1/50

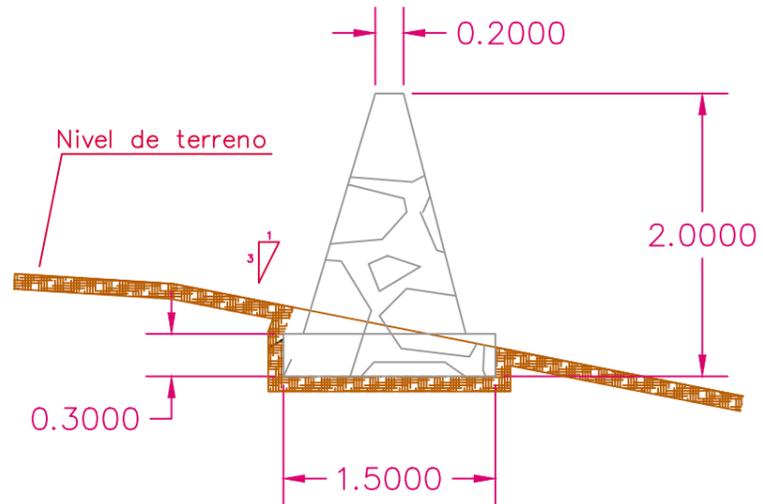


Progresiva 0 +480

El enrocado conformado en algunos tramos del lecho, serán colocados manualmente en forma de camas y tendrán una altura máxima de 0.5 m.

Sección Típica 2

Esc. 1/50



 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA		
PROYECTO: ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA QUEBRADA CANTUTA II CON FINES DE MITIGACIÓN DE HUAYCOS		
PLANO: SECCIONES TÍPICAS - DIQUES Y ENROCADO		
UBICACIÓN: UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN LA CANTUTA - DISTRITO LURIGANCHO - CHOSICA - PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LIMA		LAMINA: P-10
TESISISTA: RUT LUZMILA GARCIA CHACA	ESCALA: INDICADA	