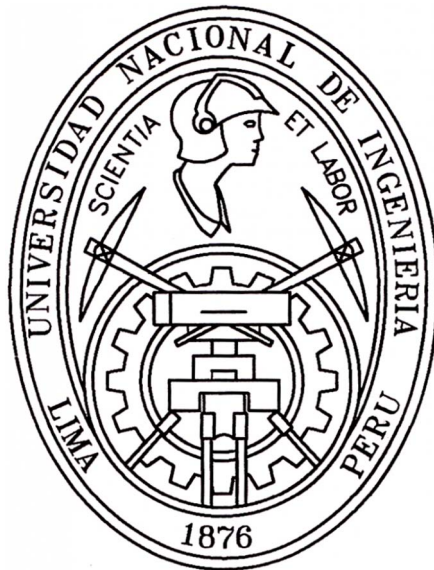


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**OBRAS DE ENCAUZAMIENTO PARA LA PROTECCIÓN DE
LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN – QUEBRADA
SANTO DOMINGO**

INFORMACIÓN BÁSICA DE INGENIERIA

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JULIO CÉSAR ANAMPA BENITES

Lima- Perú

2008

“A mis padres; por su constante apoyo, por el sueño hecho realidad”.

INDICE DEL INFORME

	Pág.
RESUMEN	3
LISTA DE TABLAS	4
LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE FIGURAS	5
INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO	8
1.1 Antecedentes	8
1.2 Ubicación	12
1.3 Historia de la Sub-cuenca	13
CAPÍTULO II: ESTUDIOS DE QUEBRADAS	18
2.1 Definición	18
2.2 Aspectos geomorfológicos	20
CAPÍTULO III: ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS	30
3.1 Hidrología	30
3.2 Hidráulica	41
3.3 Modelamiento Numérico de flujos de escombros y lodos	50
CAPÍTULO IV: ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS	55
4.1 Geología	55
4.2 Geotecnia	58
CAPÍTULO V: INFORMACIÓN BÁSICA DE INGENIERIA	61
5.1 Información recopilada	61
5.1.1 Hidrológica e Hidráulica	62
5.1.2 Geológica y Geotécnica	64
5.2 Topografía de la zona	66
5.3 Parámetros de diseño	67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXOS	77

RESUMEN

El presente informe comprende el desarrollo de los aspectos necesarios para brindar la Información Básica, en el planteamiento de las soluciones de encauzamiento para la Quebrada Santo domingo que atraviesa la Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, dado que en épocas recientes especialmente en febrero de 1998 estas instalaciones fueron afectadas por un huayco que discurrió por la quebrada Santo Domingo, originando pérdidas económicas y materiales a la universidad.

Para llevar esto a cabo se tocan aspectos generales, como su ubicación, la historia de la cuenca, los aspectos hidrológicos, hidráulicos, geológicos y geotécnicos, asimismo se hace el uso del Software Flo – 2D, que nos permite dar más luces de cómo se comportara en el futuro el huayco bajo las condiciones actuales.

El presente trabajo busca dar luces de los datos necesarios para el encauzamiento de la Quebrada Santo Domingo, en el tramo que aun falta por ejecutar, que se ubica en el campus de la Universidad Nacional de Educación, para cuantificar el caudal de diseño se utiliza el Método Racional, uno de los métodos más antiguos y más usados por los hidrólogos, para la identificación de las zonas vulnerables así como para modelar la posible ocurrencia de un huayco, se recurre al software Flo-2D, esta es una herramienta de apoyo de reciente aplicación en nuestro medio, nos brinda los tirantes y velocidades que puede adquirir el flujo durante su recorrido, cabe señalar también que este software introduce el modelamiento de flujos no newtonianos, que son los que se asemejan a los huaycos.

Este informe busca cuantificar el caudal de diseño así como identificar las zonas vulnerables frente a la ocurrencia de un huayco, centrándose en el área que le corresponde a la Universidad Nacional de Educación Enrique Guzman y Valle – La Cantuta.

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.1: Quebradas Tributarias del Valle del Rímac.
- Tabla 1.2: Principales huaycos desarrollados 1980 – 1989, Cuenca del río Rímac.
- Tabla 1.3: Principales Asentamientos Humanos de Chosica (1989).
- Tabla 1.4: Montos en pérdidas, 24 - 02 - 1998.
- Tabla 2.1: Clasificación por localización.
- Tabla 2.2: Clasificación por Pendiente.
- Tabla 2.3: Clasificación por Área.
- Tabla 2.4: Clasificación por Naturaleza del Suelo.
- Tabla 2.5: Tabla de Ponderación para Clasificación de Quebradas.
- Tabla 2.6: Clasificación de Quebradas por Riesgo.
- Tabla 3.1: Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional.
- Tabla 3.2: Otras formulas empíricas para hallar caudales máximos.
- Tabla 3.3: Estación Santa Eulalia Precipitación máxima diaria.
- Tabla 3.4: Estación Santa Eulalia Precipitación máxima diaria anual.
- Tabla 3.5: Estación Santa Eulalia Descargas máximas.
- Tabla 3.6: Resumen estadístico de precipitaciones máximas en 24 horas.
- Tabla 3.7: Cálculo de las curvas regionales de crecidas.
(Caudales en la cuenca /subcuencas tributarias).
- Tabla 3.8: Cálculo del caudal de diseño.
- Tabla 3.9: Evaluación los datos de la cuenca en las formulas empíricas de la tabla 3.2.
- Tabla 3.10: Relaciones entre el tamaño de la cuenca y las metodologías de cálculo.
- Tabla 3.11: Cálculo de las secciones hidráulicas ($n = 0.048$, $S = 11\%$, $b = 5$ m).
- Tabla 3.12: Cálculo de las secciones hidráulicas ($n = 0.048$, $S = 11\%$, $b = 6$ m).
- Tabla 3.13: Cálculo de las secciones hidráulicas ($n = 0.048$, $S = 10\%$, $b = 5$ m).
- Tabla 3.14: Cálculo de las secciones hidráulicas ($n = 0.048$, $S = 10\%$, $b = 6$ m).
- Tabla 3.15: Cálculo de las secciones hidráulicas ($n = 0.048$, $S = 3\%$, $b = 5$ m).
- Tabla 3.16: Cálculo de las secciones hidráulicas ($n = 0.048$, $S = 3\%$, $b = 6$ m).
- Tabla 5.1: Cuadro resumen de las características morfológicas.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 5.1: Granulometría Calicata C-1 (1999).

Cuadro 5.2: Granulometría Calicata C-2 (1999).

Cuadro 5.3: Granulometría Calicata C-1 (2007).

Cuadro 5.4: Granulometría Calicata C-2 (2007).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Zonas de alto riesgo debido a huaycos.

Figura 2.1: Fotografía satelital de la quebrada Santo Domingo.

Figura 4.1: Observamos un corte transversal al cono de deyección.

Figura 4.2: Mapa geológico y geomorfológico, cono de deyección, Quebrada Santo Domingo.

Figura 5.2: Tirantes máximos simulados

Figura 5.3: Velocidades máximas simuladas

INTRODUCCIÓN

El presente informe, Obras de Encauzamiento para la protección de la Universidad Nacional de Educación – Quebrada Santo Domingo – Información Básica de Ingeniería, como su mismo nombre lo indica, tiene como objetivo principal calcular el caudal de diseño para las obras de encauzamiento, así como proporcionar información geotécnica y de ser posible mostrar las zonas que se pudieran ver afectadas por la ocurrencia de un huayco.

Para alcanzar este objetivo, el estudio se basó, en la recopilación de información de la zona, así como de quebradas aledañas, a fin de predecir su comportamiento ya que cuenta con características geológicas, geográficas e hidrológicas muy similares, así también indagar su activación frente a eventos naturales de escala global, como es el fenómeno de El Niño, llegándose a identificar que se comportaba como un torrente de manera circunstancial en las épocas de lluvias, que al no presentar mayor actividad se le fue restando sección a su cauce y poblándolo. Es en febrero de 1998, que por la quebrada descende un huayco que causó pérdidas económicas cuantiosas a la universidad; luego de este evento sobre esta quebrada se realizaron obras de encauzamiento en la parte alta del cono de deyección hasta el canal de regadío próximo a los linderos de la universidad, obras que fueron desarrolladas mediante el programa de “A Trabajar Urbano”, faltando continuar el encauzamiento dentro de las instalaciones de la universidad hasta su entrega final al río Rímac.

En el presente informe se desarrollan los siguientes aspectos:

Capítulo I, se desarrollan aspectos generales del proyecto como son ubicación, historia de la cuenca, cómo se ha venido comportando a través de los últimos años, así como datos del último huayco que discurrió por la quebrada.

Capítulo II, en esta parte se desarrolla el estudio de quebradas, la definición los aspectos geomorfológicos, la clasificación, así como los tipos de huaycos que pueden ocurrir en esta quebrada.

Capítulo III, trata sobre los aspectos hidrológicos e hidráulicos de la quebrada, en esta parte se halla el caudal del diseño, así como se plantean algunas secciones que pudiera tener el encauzamiento.

Capítulo IV, en esta parte se desarrollan aspectos geológicos y geotécnicos propios de la quebrada Santo Domingo.

Capítulo V, en este capítulo se plasma toda la información recopilada y pudiera servir en el momento de plantear las soluciones ingenieriles de encauzamiento.

Para finalmente en el anexo 1, desarrollar el modelamiento de flujos de escombros y lodos con el software Flo -2D.

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES

La cuenca del río Rímac es una de las cuencas más estudiadas, ya que su entorno se desarrolla la carretera central, principal vía de comunicación con el interior del país, especialmente con la sierra y selva central, enlaza las ciudades y dinamiza nuestra economía, en esta vía se desarrollan proyectos mineros, energéticos y de abastecimiento de agua para la ciudad capital que se encuentra en el cono de deyección de la cuenca del Rímac.

El trazo de esta carretera atraviesa, numerosas quebradas, varias de ellas producen huaycos durante los meses de Diciembre a Marzo, por lo que se han estudiado muchas de ellas, a fin de poder construir obras que mitiguen la interrupción del tránsito especialmente o pongan el riesgo las ciudades y pueblos que se edifican en las orillas de su cauce, es por esta situación que recopilando información para el proyecto de Obras de Encauzamiento para proteger la infraestructura de la Universidad Nacional de Educación, hallamos datos que se muestran en las tablas 1.1 y 1.2, extraídas de la Tesis "Tratamiento en laderas y quebradas para el control de las Llocllas en el valle del Rímac", del Bach. Ing. César León-Prado Aladzeme, en las cuales nos muestra los principales huaycos desarrollados desde 1980 hasta 1989, ubicando las quebradas y fechas correspondientes. De estas tablas podemos inferir que nuestra quebrada en estudio, Santo Domingo, no era tan activa o al menos no era catalogada a ser tomada en cuenta, como sí lo eran las quebradas de Pedregal y Quirio, ya que éstas siempre son un peligro latente para los moradores que viven en su entorno.

Continuando con nuestras indagaciones, llegamos a acceder a un informe de PREDES, que había realizado un estudio en 1992, haciendo este de conocimiento a la Oficina Central de Planificación – UNE, en la cual menciona que, según la data con que ellos cuentan, en los años 1987 y 1989 han ocurrido huaycos de escasa magnitud, que sin embargo, han evidenciado la alta vulnerabilidad en que se encuentran los AAHH Santo Domingo, Villa del Sol, La

Tabla 1.1: Quebradas Tributarias del Valle del Rímac

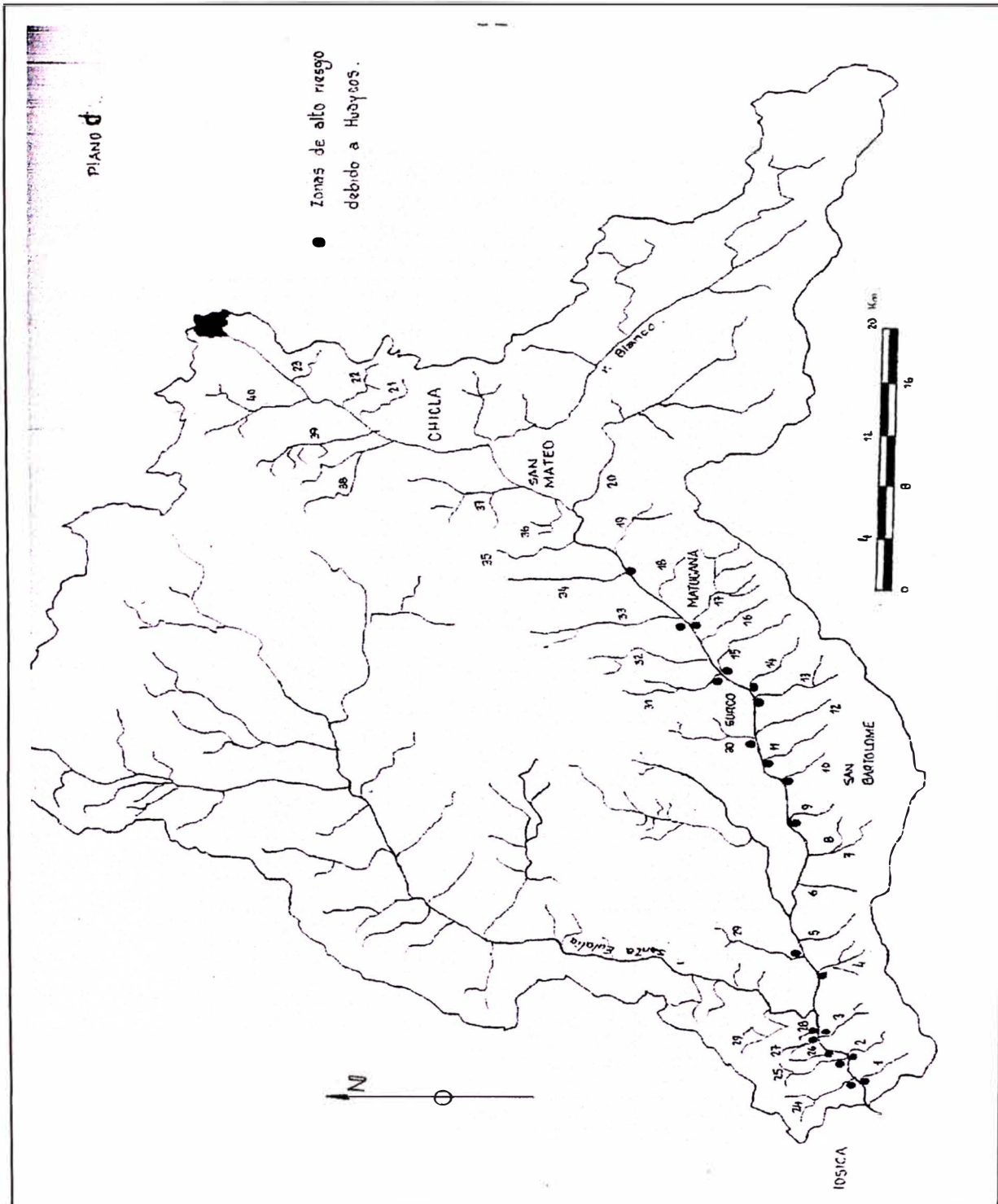
Nro	Nombre de la Quebrada	Distancia (km)	Longitud (km)	Desembocadura al Río (m.s.n.m.)	Cumbre (m.s.n.m.)	Características de la Quebrada
1	California	30,9	4	750	1700	4 tributarios
2	La Cantuta	33,4	6	800	2210	4 tributarios
3	La Redonda	37,0	5	890	2210	2 tributarios
4	Huayco	42,0	4,5	1030	2300	2 tributarios
5	Santa Ana	42,1	4	1030	2300	5 tributarios
6	Cupiche	45,7	4,5	1150	2600	4 tributarios
7	Agua Salada	52,2	5	1320	3200	2 tributarios
8	Antioquia	52,2	4,5	1320	2900	2 tributarios
9	Del Pate	52,5	5,5	1350	3605	2 tributarios
10	Río Seco	55,9	4	1520	4630	1 tributario
11	Esperanza	58,1	3	1550	3750	1 tributario
12	Verrugas	60,8	5	1650	4470	1 tributario
13	Matala	66,3	7	1970	4630	4 tributarios
14	Cuchimachay	66,9	5,5	2010	4580	
15	Chacamoza	67,5	5	2030	4500	
16	Barranco	71,0	3	2200	4680	
17	Chucumayo	73,5	6	2360	5020	5 tributarios
18	Chacahuaro	78,6	4	2490	4720	
19	Viso	81,1	7	2750	5315	2 tributarios
20	Parac	87,3	8	2950	5310	
21	Veintiuno	104,1	2,5	4050	5020	
22	Carmen	105,1	5,5	4150	5300	
23	Corina	108,6	3	4380	5200	
24	Santa María	30,9	3	755	1650	2 tributarios
25	Quirio	33,5	4,5	805	2010	3 tributarios
26	Pedregal	34,5	6	820	2330	2 tributarios
27	Carossio	3,6	1,5	840	1675	
28	Corrales	37,0	2	850	2000	
29	San Juan	43,3	5,5	1150	2950	1 tributario
30	Linday	63,0	5	1780	4800	6 tributarios
31	Yamajune	69,3	9	2100	4880	
32	Palcacancha	70,9	9	2200	4900	5 tributarios
33	Paihua	75,0	10	2400	4760	
34	Pancha	79,1	7	2510	5300	2 tributarios
35	Ocatara	84,0	3	2850	4760	
36	Challumay	87,7	3	2950	5000	
37	Turumanya	91,8	6	3200	5250	3 tributarios
38	Santa Rosa	101,5	4	3900	5300	
39	Tacpin	103,0	4	3980	5280	3 tributarios
40	Chinchan	107,5	3,5	4280	5200	4 tributarios

La distancia referida es tomando en cuenta el kilometraje de la carretera central.

La longitud indicada esta referida a la proyección de la quebrada en el plano.

Fuente: César León-Prado, Tratamiento en laderas y quebradas para el control de las Llocllas en el valle del Rímac, 1989¹.

Figura 1.1: Zonas de alto riesgo debido a huaycos.



Fuente: César León-Prado, 1989².

**Tabla 1.2: Principales huaycos desarrollados 1980 – 1989,
Cuenca del río Rímac**

Año	Lugar	Fecha
1980	Qda. Rio Seco	27-ene
1980	Qda. Rio Seco	16-mar
1980	Qda. Esperanza	27-mar
1981	Qda. Rio Seco	12-feb
1981	Qda. Esperanza	12-feb
1981	Qda. Esperanza	21-feb
1981	Qda. Del Pate	04-mar
1981	Qda. Rio Seco	05-mar
1981	Qda. Linday	21-mar
1981	Qda. Matala	26-mar
1983	Qda. Rio Seco	21-ene
1983	Qda. Paihua	22-feb
1983	Qda. Rio Seco	22-feb
1983	Qda. San Juan	23-feb
1983	Qda. Chucumayo	28-feb
1983	Qda. Matala	28-feb
1983	Qda. Rio Seco	02-mar
1983	Qda. Linday	06-mar
1983	Qda. Paihua	06-mar
1983	Qda. Paihua	22-mar
1984	Qda. Palcacancha	21-ene
1984	Qda. Pedregal	04-feb
1984	Qda. San Juan	10-mar
1987	Qda. La Cantuta	02-mar
1987	Qda. Quirio	09-mar
1987	Qda. Pedregal	09-mar
1987	Qda. Carossio	09-mar
1987	Qda. Corrales	09-mar
1988	Qda. Paihua	10-feb
1988	Qda. Cuchimachay	10-feb
1989	Qda. Verrugas	16-ene
1989	Qda. Cahacamoza	25-ene
1989	Qda. Ocatara	25-ene
1989	Qda. Matala	29-ene
1989	Qda. Paihua	29-ene
1989	Qda. Quirio	16-ene
1989	Qda. Pedregal	16-ene
1989	Qda. Carossio	16-ene
1989	Qda. Corrales	16-ene
1989	Qda. La Cantuta	16-ene
1989	Qda. California	16-ene

Fuente: César León-Prado, 1989³.

Cantuta, Rímac, 3 de Octubre y la propia universidad. De los años en adelante no encontramos reporte de actividad significativa hasta 1998, como parte de los efectos del fenómeno del niño que asoló nuestro país en 1997-98, ocurre un huayco de consideraciones en esta quebrada ocasionando pérdidas por alrededor de S/. 650,00.00 Nuevos soles a la Universidad Nacional de Educación.

En el Año 2003, se realizan trabajos de encauzamiento en la parte inicial del cono de deyección de la quebrada hasta el canal de la acequia que abastece de agua a la universidad y la junta regantes de la parte baja del valle, con participación de la Población mediante el programa de “A trabajar Urbano”, el trabajo consistió en la construcción de dos diques de escombros y la construcción de muros de mampostería de piedra para canalizar el flujo, la altura de la canalización tiene en promedio 2.5 metros mientras que el ancho varía de 6 a 10 metros.

La Quebrada de Santo Domingo se había mantenido entre comillas “durmiendo”, pero a luz de los procesos climáticos globales, que afectan a nuestro planeta, como son el efecto invernadero, que esta haciendo mas recurrente el fenómeno de “El Niño”, nos muestra que esta quebrada tendrá un comportamiento más activo, por lo que debemos prever y mitigar sus efectos, en los años venideros, haciendo que la infraestructura con la que contamos no quede deteriorada y mucho menos tengamos pérdidas humanas que lamentar por una falta de previsión, porque lo anteriormente ocurrido no es más que un toque de alerta, está en nosotros darle la debida importancia.

Debemos convivir con los huaycos porque ellos siempre se han dado, a lo largo de la historia, nosotros muchas veces no le damos la atención debida, y no comprendemos que nuestro medio se encuentra en constante actividad, es la geodinámica de nuestro planeta.

1.2 UBICACIÓN

El área del proyecto está situado dentro de las instalaciones de la Universidad Nacional de Educación “Enrique Guzmán y Valle” – Chosica, sobre la margen izquierda del río Rímac, aproximadamente a 38 km al este de la ciudad de Lima. Tiene una altitud promedio de 850 m.s.n.m.

Geográficamente está situada en:

Distrito : Lurigancho - Chosica
Provincia : Lima
Departamento : Lima
Cuenca : Río Rímac

La Quebrada Santo Domingo se encuentra al frente de la quebrada de Pedregal, que es una de las quebradas más activas de la cuenca del Rímac en las épocas de lluvia, acrecentando su actividad especialmente cuando los efectos del fenómeno de “El Niño” se muestran en nuestro país.

El cauce de esta quebrada atraviesa la parte nor-este del área sobre la cual se edifica la Universidad Nacional de Educación “Enrique Guzmán y Valle” – La Cantuta.

La accesibilidad principal desde Lima y del Centro del Perú es por la Carretera Central, se puede acceder por dos vías alternativas que cruzan el río Rímac y llegar a nuestra área de estudio.

También es accesible por la vía ferroviaria que une Callao - Lima – Chosica – La Oroya - Huancayo; pero, esta vía sólo es usada para transporte de pasajeros en situaciones ocasionales, siendo la mayor parte tiempo usado para el transporte de minerales concentrados de La Oroya al Callao.

1.3 HISTORIA DE LA SUBCUENCA

Esta subcuenca, hidrológicamente hablando, pertenece a la cuenca del río Rímac, de la información recopilada era un torrente sin mayor importancia, la mayor parte del tiempo seco, por lo que al no presentar mayor actividad, la población de Chosica paulatinamente fue ocupando su cono de deyección, 1948 y 1978, como se puede apreciar en la Tabla 1.3, recopilación extraída de la tesis de grado “Estudio del Método de Corrección de Drenaje para evitar los Huaycos y su Aplicación en la Quebrada de Pedregal – Chosica”, del Bachiller Ing. Raúl Carhuayal, de 1992; inclusive se proyecta la construcción de la Universidad Nacional de Educación en este emplazamiento.

Tabla 1.3: Principales Asentamientos Humanos de Chosica (1989)

Asent. Humanos	Fecha de Ocupación	Lotes o familias	Servicios	Ubicación
Barrio Rimac	1945	102	Total	Quebrada
Buenos Aires	1945	102	Total	Quebrada
Clorinda Málaga	1936	65	Parcial	Ribera
La Florida	1934	33	Total	Ribera
Libertad	1958	175	Total	Quebrada
Los Jardines	1940	16		
Mcal. Castilla	1953	130	Total	Quebrada
Moyopampa	1948	522	Total	Quebrada
Nicolas de Pierola	1946	475	Total	Quebrada
Oswaldo Burga	1981	70		Ribera
1 de Enero	1973	46	Total	
28 de Julio	1963	80	Parcial	Ribera
San Antonio de Pedregal Alto	1960	862	Total	Quebrada
San Juan de Bellavista	1946	134	Casi Total	Quebrada
Santo Domingo	1948	127	Total	Quebrada
Señor de los Milagros	1964	120	Casi Total	Quebrada
Sierra Limeña	1956	206	Total	Quebrada
Asoc. La Cantuta	Antes de 1978	78	Parcial	Quebrada
Villa El Sol	1978	15		
Virgen del Rosario	1949	193	Parcial	Quebrada
San Antonio de Pedregal Bajo	1940			Quebrada

Fuente: Raúl Carhuayal, Estudio del Método de Corrección de Drenaje para evitar los huaycos y su aplicación en la Quebrada Pedregal-Chosica, 1992⁴.

CRONICA DE UN HUAYCO ANUNCIADO, 24 DE FEBRERO DE 1998

El último huayco que causó daños considerables a la Universidad Nacional de Educación, ocurrió el 24 de Febrero de 1998, a horas 3:40 p.m., dejando a su paso cuantiosos daños: en el Colegio de Aplicación, Pabellón de humanidades y centro de producción, tanto en lo estructural, material, mobiliario, insumos y animales del área de producción, con daños que ascendieron a S/. 650,000.00 Nuevos Soles, éste fue un evento que pudo prevenirse e incluso reducir drásticamente las pérdidas, a continuación se muestra algunas comunicaciones oficiales, entre los pobladores, Municipalidad de Lurigancho-Chosica y funcionarios de la UNE.

Las Juntas Vecinales de los Asentamientos Humanos “El Rímac”, “La Cantuta” y “3 de Octubre”, cursan un oficio al Señor Alcalde de Lurigancho-Chosica, el 05 de Febrero de 1998, que a la letra dice: “...como es de su conocimiento de UD., que a consecuencia del Fenómeno del Niño, viene ocurriendo huaycos en diferentes zonas...recurrimos a su despacho en su calidad de Presidente de Defensa Civil, se efectuó LA LIMPIEZA DEL CAUCE DE HUAYCO DE SANTO DOMINGO...que por su intermedio se solicite maquinarias y previa coordinación con las autoridades de la UNE, se efectuó esta limpieza urgente...”.

El Secretario Técnico de Defensa Civil, eleva informe a Dirección de Servicios Técnicos Municipalidad, Asunto: Emergencia Quebrada Santo Domingo, el 16 de Febrero de 1998, y tiene como tenor: “... en inspección realizada a la quebrada Santo domingo, debido a que se ha comprobado la actividad intensa de lluvias aunque ha bajado un huayco de regulares proporciones, que ha producido...una inundación parcial de la Universidad de Educación...la quebrada, está en intensa actividad aluvional, produciéndose un pequeño huayco el 04-02-98.

El PP.JJ. Santo Domingo está expuesto al riesgo de inundación por huayco principalmente en la curva del C.E. N°0072...Es necesario la regulación, encauzamiento y control del cauce hasta la entrega al río Rímac...el cauce debe ser limpiado...considerándose 100 mts aguas arriba a partir del C.E. N°0072 y 100 mts más desde le extremo del angostamiento...Es urgente definir el cauce en al parte inferior en el torrente de Santo Domingo, desde el muro que limita con la UNE, hasta la desembocadura en el río Rímac...Solicito: La realización de un perfil de proyecto de tal manera de ponerlo en consideración a las autoridades de la UNE, el PP.JJ. y comité de Defensa Civil, de tal manera de mitigar las acciones de los huaycos”.

Informe de Oficina de Infraestructura-UNE a Presidencia del Comité de Defensa civil de la UNE, Asunto: Prevención de Desastres por fenómeno del niño en la Quebrada Santo Domingo, del 18 de Febrero de 1998, que informa lo siguiente: “...La Oficina de Infraestructura, como parte integrante del comité de Defensa civil de la UNE... realizó

el día Jueves 5 del presente un recorrido por la trayectoria del cauce del huayco...el resultado...ha sido puesto en conocimiento de los miembros del Comité de Defensa Civil de la UNE el día 9 del presente...En la actualidad el cauce del huayco...está obstaculizado en la mayor parte de su recorrido, ya sea por acción propia del tiempo, por falta de mantenimiento, o porque a sido utilizado para sembríos y/o construcciones...así mismo las obras realizadas por INFES para la construcción del colegio, han generado el relleno y nivelado del terreno en el sector bajo hace que las instalaciones estén en grave riesgo de ser afectadas...” se menciona comunicaciones con miembros de la municipalidad a la espera de presentar un proyecto conjunto que al final por descoordinaciones, se retrazan y se esperan nuevas informaciones por lo que acota: “considero necesario que a la brevedad se dispongan las siguientes acciones paralelas a las que ya se están ejecutando: ...limpiar el cauce del huayco, especialmente de sembríos existentes a fin de estos puedan ser trasplantados a otra zona de ser posible...evacuar las instalaciones que ocupa la granja de cerdos de la UPEA, puesto que esta estaría afectada por el cauce del huayco...prever los recursos par la contratación de la maquinaria pesada a utilizar en la limpieza del cauce...”

Al final todo lo anteriormente señalado, quedó en buenas intenciones, el 24 de Febrero a las 3.40 p.m., desciende un huayco por la quebrada de Santo Domingo siguiendo su cauce natural parcialmente alterado, llevando a su paso lodo y piedras, arrasando lo que encontró a su paso, que terminaron con pérdidas económicas y materiales para la Universidad Nacional de Educación, además que parte de la infraestructura fue afectada. Según fuentes de la propia universidad las perdidas ascendieron a S/. 685,00.00 Nuevos Soles, como se detalla a continuación, tabla 1.4.

Tabla 1.4: Montos en pérdidas, 24 - 02 - 1998.

DESCRIPCIÓN	S/.
Colegio de Aplicación	100,000.00
Facultad de Humanidades	50,000.00
Auditorio Principal	150,000.00
Veredas Nuevas	20,000.00
Unidad de producción	100,000.00
Área de sembrío de rosas	80,000.00
Área de Jardín Botánico	80,000.00
Muro Perimetral y Portón Metálico	15,000.00
Bienes y insumos	90,000.00
Total de pérdidas estimadas	685,000.00

Fuente: UNE-Oficina de Infraestructura Física

La razón que nos motiva al presente informe, es contribuir con la mitigación de los huaycos que se pudieran presentar en la quebrada de Santo Domingo en el futuro, a fin de reducir las pérdidas que este pudiera ocasionar a la infraestructura existente y a la que pudiera proyectarse en el futuro, así como a las vidas que pudieran verse en riesgo.

CAPÍTULO II: ESTUDIOS DE QUEBRADAS

El interés de estudiar las quebradas, parte de la necesidad de construir obras civiles en su entorno, sean carreteras, canales, puentes, centros poblados y/o proteger estos, como es nuestro caso.

Siempre debemos tener presente, que nuestra obra civil atraviesa la quebrada y no es la quebrada la que cruza nuestra obra, ella siempre estuvo allí, nosotros somos los que irrumpimos en su entorno, a veces por necesidad de integramos, carreteras, puentes, canales, u otras veces por necesidad nuestra, centros poblados en cauces aluvionales, sea el motivo que nos convoque a interactuar con ella, debemos estudiarla, haciendo uso de los conocimientos ingenieriles adquiridos, así como de las experiencias planteadas en lugares similares.

Del buen conocimiento que tengamos de las características de nuestra quebrada en estudio, nos permitirá conocer el comportamiento que ésta tendrá frente a las obras que deseemos edificar en su entorno.

El manejo de la quebrada, es a lo que aspiramos, para lo cual debemos plantear el problema de forma integral, comprende la zona de encuentro así como el manejo de la parte alta, ya que ambas están relacionadas y tienen un grado de dependencia una de la otra.

2.1 DEFINICIÓN

Una quebrada es una forma topográfica producto de ciertos agentes erosivos, como el viento y la lluvia, siendo en nuestro país la lluvia el principal de ellos.

Que en zonas montañosas con pendientes muy fuertes, con terreno subyacente erosionable y bajo condiciones climáticas de bruscas variaciones, en las cuales se alternan periodos prolongados de estiaje y precipitaciones intensas en lapsos de tiempo cortos, generan flujos hacia las partes bajas.

La función principal de una quebrada es la de drenar el agua que precipita sobre su cuenca.

Posee una estructura similar a un río, se identifican tres zonas específicas:

Cuenca de recepción
Cauce de transporte y
Cono de deyección.

Cuenca de Recepción.- También llamada zona de producción, es la zona más elevada de la quebrada, donde se intercepta el agua de las lluvias de alta intensidad. En esta zona se inicia la escorrentía superficial, suelen identificarse una red de canales pequeños, inestables y muchas veces de curso variable, predomina la erosión de fondo, y por lo general posee pendientes muy fuertes.

Cauce de Transporte.- También llamada zona de transporte, donde confluye la pequeña red de canales y se va determinando un canal de curso más estable, la erosión lateral es intensa, en esta zona se producen el derrumbe de taludes laterales y se profundiza el cauce, dependiendo del material subyacente.

Cono de Deyección.- Zona de deposición del material erosionado, también se le denomina Abanico Aluvial, por la forma que tiene y porque en esta zona se deposita el material transportado por la quebrada, conocido como material de origen aluvial, posee pendientes suaves, esta zona es fácilmente reconocible, es cuando la corriente abandona el área montañosa.

En la Figura 2.1, podemos identificar estas zonas en la Quebrada Santo Domingo, la cuenca de recepción que ocupa casi la mitad del área de la quebrada, el cauce de transporte que se va contrayendo conforme avanza sobre el cono de deyección y éste propiamente dicho, donde se ubica universidad y los asentamientos humanos de Santo domingo, Villa del Sol, La Cantuta, Rímac y 3 de Octubre, encontrándose con el cauce del Rio Rímac, al cual drena las aguas que capta en sus parte más elevadas.



Figura 2.1: Fotografía satelital de la quebrada Santo Domingo

2.2 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Los procesos tectónicos que se fueron desarrollando durante los millones de años que nos preceden, fueron determinando relieves, y éstos a su vez fueron alterados por los agentes geológicos, que fueron cambiando el relieve de nuestro planeta en procesos sucesivos a través de miles de años, conformando el paisaje que se muestra a nuestros ojos y que continúa de manera inexorable, siendo mudos testigos de los cambios bruscos que a veces se dan.

Las quebradas no son más que el resultado de la erosión del suelo debido a la acción de las precipitaciones y la escorrentía producida por ésta.

Las características fisiográficas de una quebrada son todas aquellas características que puedan describirla y diferenciarla de otras formas geográficas, además, en conjunto predecir la forma que adoptará la quebrada, y definir su comportamiento actual.

Estas características controlan los fenómenos que condicionan la relación entre el estímulo de la precipitación y la respuesta a esta con escurrimientos y erosión. Estas características, según la manera en que controlan los fenómenos mencionados, se clasifican en dos tipos.

Las que condicionan el Volumen de Escurrimiento, como:

- a) Área de Recepción
- b) Tipo de Suelo

Los que condicionan la Velocidad de Respuesta, como:

- a) Orden de corrientes.
- b) Longitud de la quebrada.
- c) Pendiente media de la quebrada:

Parámetros Geomorfológicos de la Quebrada Santo domingo

Para una mejor comprensión de los procesos geodinámicos que ocurren dentro del área, es necesario conocer las características geométricas de la cuenca, sus relaciones con la litología, estructuras geológicas y su régimen hidrológico.

Área total de la cuenca (A_c).- Se considera a todo el área del terreno cuyas precipitaciones son drenadas hacia la quebrada por un sistema común de cauces (canal de salida).

$$A_c = 4.13 \text{ km}^2.$$

Perímetro de la cuenca (P_c).- Es la longitud de la divisoria o perímetro del contorno de la cuenca, esta característica tiene influencia en el tiempo de concentración de la cuenca.

$$P_c = 10.26 \text{ Km.}$$

Forma de la Sub cuenca.- Se expresa con los siguientes parámetros:

i) Coeficiente de compacidad o Índice de Gravelius (K_c)

Denominado también índice de Gravelius, este parámetro constituye la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia cuya área es equivalente al área de la cuenca en estudio.

$$\pi r^2 = 4.13$$

$$r = 1.146$$

$$\text{Perímetro de la circunferencia} = 2\pi r = 7.2$$

$$K_c = P_c / 2\pi r$$

$$K_c = 10.26 / 7.2$$

$$K_c = 1.425$$

Cuando el valor K_c se acerca a la unidad, la cuenca se aproxima a la forma circular lo que permite la rápida evacuación, por lo menos en la parte alta (área de recepción).

ii) Factor de forma (K_f)

Es la relación entre el ancho medio de la cuenca y la longitud total del curso de escurrimiento mayor hasta la desembocadura. El ancho medio de la cuenca se obtiene dividiendo el área total de la cuenca entre la longitud total del canal de escurrimiento.

$$K_f = A_c / L^2$$

$$K_f = 4.13 / 3.85$$

$$K_f = 0.28$$

iii) Longitud axial (L)

Longitud de mayor extensión y representatividad en la cuenca.

$$L = 3.85 \text{ Km.}$$

Pendiente de la cuenca (Sc)

La pendiente de una cuenca es un parámetro muy importante en el estudio de toda cuenca, pues influye por ejemplo, en el tiempo de concentración de las

aguas en un determinado punto del cauce y su determinación no es una sencillez manifiesta, existiendo para ello una serie de criterios debido a que dentro de una cuenca existen innumerables pendientes.

$$S_c = 23 \%$$

Es la pendiente promedio de toda la cuenca, el cociente entre la diferencia de su cota más alta menos la cota de la desembocadura y la longitud de su cauce principal.

2.3 CLASIFICACIÓN DE QUEBRADAS

Anteriormente se han fijado las características fisiográficas de las quebradas, así como también los factores que influyen en la formación de las mismas, a partir de estos conceptos en la Tesis “Criterios para el manejo de quebradas y su aplicación en el diseño de Obras Civiles” (1998), de la Ing. Ada Arancibia⁵, se proponen criterios de clasificación a tomar en cuenta para la evaluación de una quebrada y la influencia en su entorno.

El procedimiento a seguir es otorgar un puntaje a cada parámetro que define una quebrada: Localización, Pendiente, área, Naturaleza del Suelo, Tipo de vía; según los cuadros mostrados a continuación:

Clasificación por localización:

Tabla 2.1: Clasificación por localización

Vertiente del Pacífico			Vertiente del Atlántico	Vertiente Del Lago Titicaca
Norte b	Centro c	Sur d	a	c
Chala o costa		b	Omagua o selva Baja	b
Yunga marítima y fluvial		a	Selva Alta	a
Quechua		a	Yunga Fluvial	b
Suni		b	Quechua	a
Puna		c	Suni	b
Janca		d	Puna	c
			Janca	d

- A: Si se dan las combinaciones: aa ó ab.
 B: Si se dan las combinaciones: bb ó ac.
 C: Si se dan las combinaciones: cc, ad ó bc.
 D: Si se dan las combinaciones: bd, cd ó dd.

- Clasificación por Pendiente:

Tabla 2.2: Clasificación por Pendiente

A : Fuerte	$S < 40\%$
B : Media	$10\% < S < 40\%$
C : Suave	$10\% < S$

- Clasificación por Área:

Tabla 2.3: Clasificación por Área

A : Grande	$50 \text{ km}^2 < A < 150 \text{ km}^2$
B : Mediana	$2.5 \text{ km}^2 < A < 50 \text{ km}^2$
C : Pequeña	$A < 2.5 \text{ km}^2$

- Clasificación por Naturaleza del Suelo:

Tabla 2.4: Clasificación por Naturaleza del Suelo

A: Alta contribución	Material de las laderas: no cohesivos y sueltos, con alturas $> 5\text{m}$ y con $S_{\text{Ladera}} > 35^\circ$.
B: Mediana contribución	Material de las laderas: suelos densos y/o cohesivos altura $> 5\text{m}$, suelos no cohesivos y sueltos altura $< 5\text{m}$, y S_{Laderas} entre 15° a 35° .
C: Baja contribución	Lechos de rocas sanas y/o fracturadas, el material conformante de los bancos: Suelos cohesivos, densos con alturas $> 5\text{m}$ y con $S_{\text{Laderas}} < 15^\circ$.

Una vez denominado las letras A, B, C o D para los diferentes parámetros, obtenemos sus puntajes de la siguiente tabla.

Tabla 2.5: Tabla de Ponderación para Clasificación de Quebradas

LOCALIZACIÓN	A 5	B 4	C 3	D 2
PENDIENTE	A 4 Fuerte	B 3 Media	C 2 Suave	
ÁREA	A 3 Grande	B 2 Mediana	C 1 Pequeña	
NATURALEZA DEL SUELO	A 3 Permeable	B 2 Pobremente Permeable	C 1 Prácticamente Impermeable	
TIPO DE INFRAESTRUCTURA	A 50 Clase I	B 30 Clase II	C 15 Clase III	

Finalmente obtenemos la suma de los valores de ponderación para los diferentes parámetros, clasificando a la Quebrada según la tabla 2.6 (Tipo I, II o III).

Tabla 2.6: Clasificación de Quebradas por Riesgo

DENONIMACIÓN	GRADO DE RIESGO	Valor de Ponderación
TIPO I	Alto	45 - 65
TIPO II	Moderado	36 - 44
TIPO III	Bajo	21 - 35

Aplicando la metodología expuesta a la Quebrada Santo Domingo, tenemos:

Nombre: Quebrada de Santo domingo

Ubicación: Km 38 de la Carretera Central (frente a la ciudad de Chosica)

Área de Drenaje: 4.13 km²

Pendiente promedio: 23%

Descripción de campo: El material de las laderas se encuentra sobre suelos sueltos, lo que provoca los deslizamientos en algunas zonas de la quebrada. La profundidad del cauce es mayor a 5m, la pendiente de las laderas son muy empinadas.

Tipo de Vía: Su desembocadura solo cruza vías vecinales.

De la tabla 2.1 se obtiene el peso por localización:

Vertiente del Pacífico – Centro:	c	
Región Yunga:	<u> a </u>	
	ac	→ Localización B

De la tabla 2.2 a la tabla 2.4 se obtienen los otros valores. Una vez reconocida la letra (A, B, C) se le asigna su puntaje correspondiente por medio de la tabla 2.5:

LOCALIZACIÓN:	B = 4
PENDIENTE:	B = 3
ÁREA:	B = 2
NATURALEZA DEL SUELO:	A = 3
TIPO DE INFRAESTRUCTURA:	<u> B = 30 </u>

TOTAL = 42

Luego con este dato nos vamos a la tabla 2.6, y hallamos que para un total de 42 puntos, nuestra quebrada representa un riesgo moderado, como ya se había manifestado anteriormente, ésta es una quebrada que se activa por lo general ante la presencia de lluvias intensas, inducidas por el desarrollo del fenómeno de “El Niño”, el peligro latente surge cuando por acumulación de sedimentos en su cauce, contando la quebrada con pendiente moderada en su cauce y alta pendiente de sus laderas, las hace propicias para cuando ocurran lluvias intensas, generar flujos hacia las partes bajas, llevando lo que encuentre a su paso, como son las viviendas de los diferentes asentamientos humanos y la infraestructura, que se hayan en su cono de deyección, es por tal motivo que la clasificación dada, según la metodología antes aplicada, nos da una visión o más luces, de que estamos frente aun problema que potencialmente se podría volver riesgoso si no tomamos las medidas correctivas necesarias.

2.4 TIPOS DE FLUJO EN UNA QUEBRADA

Se incluye esta selección más que nada para definir los diferentes tipos de flujo producto de la respuesta de la quebrada ante una precipitación. Estos Tipos son:

- a. Avenida
- b. Deslizamiento de escombros (Debris Slides)
- c. Avalanchas de Escombros (Debris Avalanche)
- d. Flujo de Escombros (Debris Flow)
- e. Huaycos.

De los cuales solo se analiza el último.

2.4.1 HUAYCO

En el caso de los huaycos, se estima que en el Perú anualmente se producen cerca de 30 casos, especialmente entre los meses de diciembre a abril. Tres o cuatro alcanzan tal magnitud que causan daños a las carreteras, viviendas, tierras de cultivo en el peor de los casos.

Se definen como un fenómeno debido al cual, una gran masa de material compuesto de suelos, rocas, arbustos y en muchos casos grandes troncos, etc., es arrancado de la parte alta de las laderas de la quebrada o montaña por efecto de lluvias torrenciales. Este material es transportado en forma violenta aguas abajo a velocidades variables, el movimiento es función de la pendiente y entre otros por los obstáculos que encuentra a su paso por la quebrada. Este material que viene moviéndose, adquiere en su recorrido la consistencia de un “lodo aluviónico” pesado y destructor que, al llegar a un río próximo se disipa.

En términos internacionales la definición que más coincide con la de los huaycos es de “Debris Torrents”, que es el flujo de torrentes de escombros orgánicos y/o inorgánicos.

Mecanismo de los Huaycos.

Para entender de estos fenómenos es necesario que se definan las tres zonas de:

- 1.- Cuenca de Recepción o zona de producción
- 2.- Cuenca Media o zona de transporte.
- 3.- Cuenca baja o zona de acumulación (cono de deyección).

Durante los periodos lluviosos, 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 los lechos de las quebradas tributarias. Éstos al comienzo no son capaces de transportar la carga (a la que se agrega la dejada por las crecidas torrenciales de periodos lluviosos anteriores), pero con la ocurrencia de lluvias más 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 en lavas torrenciales violentas o huaycos.

En general, estos fenómenos están ligados a la ocurrencia de periodos lluviosos intensos.

Cuando predominan materiales rocosos en el flujo torrencial, estos 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 quedarse desprovistos de su carga sólida, son más 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 principales características de esta zona es su forma profunda y sinuosa, con un fondo desigualmente rellenado. El cono de deyección es la zona donde se acumula y depositan los bloques de gran dimensión, así como lodo y materiales finos formando un abanico.

2.4.2 TIPOS DE HUAYCOS

Los huaycos se presentan, según la frecuencia de su recurrencia, bajo dos circunstancias:

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

Según su naturaleza pueden ser:

- 1.- *Huaycos de lodo (Mud flows)*.- Están constituidos en mayor proporción por lodo y en menor porcentaje de gravas y rocas medianas.
- 2.- *Huaycos de rocas (Rocky flow)*.- Están constituidos en mayor porcentaje de rocas grandes y medianas, en menor porcentaje de gravas.
- 3.- *Huaycos Mixtos (Debris flow)*.- Están constituidos de lodo gravas y rocas en igual porcentaje.

Estos tipos de huaycos que se presentan como proceso erosivo, son consecuencia del desarrollo de otros procesos de erosión, que ocurren dentro de la quebrada.

En la Quebrada Santo Domingo, se pueden presentar huaycos de lodo, de rocas o mixtos dependiendo de la cantidad de precipitación, su intensidad y principalmente la cantidad de finos que pudieran haberse acumulado en su cauce y cuenca de recepción, como se verá más adelante, se ha podido observar en el cono de deyección, la existencia de vestigios que han ocurrido éstos tipos de huaycos en diferentes etapas del desarrollo de ésta quebrada.

CAPÍTULO III: NOCIONES DE HIDROLOGIA E HIDRAULICA

3.1 HIDROLOGÍA

Según las experiencias ocurridas en años anteriores, las grandes precipitaciones y sus efectos ocurren según algún periodo de recurrencia, es muy usual relacionarlo con la aparición del Fenómeno de “El Niño”.

Es decir, los huaycos y las inundaciones han ocurrido en el tiempo y volverán a ocurrir muchas veces más en el futuro.

Generalmente los huaycos han causado incalculables daños en las subcuencas de Pedregal, Quirio, Paihua y otras más, perjuicios que, sin embargo, se olvidan rápidamente cuando las condiciones climáticas varían a situaciones de sequía. Se sabe que nuestro clima actual oscila entre periodos lluviosos y periodos secos, con leves cambios de temperatura, pero estos ciclos no afectan del mismo modo a todo el territorio nacional.

Sin embargo, la ocurrencia de estos ciclos secos y lluviosos parecen estar bien definidos en los últimos años, así por ejemplo entre 1975 y 1998 se produjo una sequía luego de unos años lluvioso y los huaycos, fueron en ese tiempo un problema casi olvidado en la región central del país; mas no así en los años 1981, 1983, 1987, 1989, 1997 y 1998, que fueron años lluviosos, y por consiguiente ocurrieron huaycos muy violentos, que por los cuantiosos daños volvieron al primer plano de la atención nacional, a pesar que los años de 1997-98, ya se tenía conocimiento de los efectos que estos podía causar, no se tomaron las medidas correctivas necesarias, siendo el huayco del 24 de febrero de 1998, en la quebrada de Santo Domingo, una muestra palpable de cuán vulnerable somos.

A continuación describimos algunos conceptos y metodologías vertidas en la Tesis “Criterios para el manejo de quebradas y su aplicación en el diseño de Obras Civiles” (1998), de la Ing. Ada Arancibia⁶, para el cálculo del caudal de escurrimiento.

La escorrentía es el flujo superficial del agua en exceso de una lluvia que cae sobre una superficie, por su naturaleza una medición del caudal se hace complicada, en cambio se han desarrollado una serie de métodos que nos permiten calcular el caudal de escurrimiento a partir de registros de precipitación y de las características de la cuenca de recepción, que pueden conocerse mediante plano topográfico y una visita de campo.

En suma los principales parámetros involucrados en estos métodos son:

1. Área de la cuenca
2. Altura total de precipitación
3. Características generales o promedio de la cuenca (forma, pendiente, vegetación, etc.)
4. Distribución de la lluvia en el tiempo
5. Distribución en el espacio de la lluvia y de las características de la cuenca

Los parámetros 1 y 3, básicamente se definen a partir de las características fisiográficas de la cuenca de recepción de las quebradas, los parámetros 2, 4 y 5, son deducidas a partir de un análisis de los datos, que se obtiene de los registros de precipitación. Luego el problema es contar con registros adecuados de precipitación. Básicamente existen dos tipos de registros, los pluviométricos, que registran la cantidad de lluvia caída, y los pluviógrafos, que muestran cómo varía la precipitación en el transcurso de la tormenta.

3.1.1 MÉTODO EMPIRICO: RACIONAL

Aunque no son muy confiables, debido a que se obtuvieron para determinadas zonas, son más sencillos, y su rápida aplicación nos permite definir un orden de magnitud para el caudal de avenida. A continuación se hace una descripción breve del método empírico, más utilizado.

En principio, para aplicar este método se requieren los siguientes datos:

- Registros de precipitaciones máximas diarias o registros de distribución de precipitaciones.
- Mapas topográficos
- Descripción de la vegetación y naturaleza del suelo.

Éste es uno de los métodos más conocidos y usados en la actualidad, y quizás el más antiguo.

El producto de la intensidad de la lluvia i y el área de cuenca A , es el caudal de entrada al sistema, iA , y la relación entre éste caudal y el caudal pico Q (que ocurre en el tiempo t_c) se conoce como el coeficiente de escorrentía C ($0 \leq C \leq 1$).

Lo anterior se expresa mediante la fórmula racional:

$$Q = 0.278 C i A \quad (3.1)$$

Donde:

Q	:	en m ³ /s.
i	:	en mm/hora.
A	:	en km ² .

Coeficiente de Escorrentía, es una de las variables más imprecisas de este método. Implica una relación apropiada entre la tasa de escorrentía pico y la tasa de lluvia para la cuenca de drenaje, lo cual no es muy cierto. Su selección apropiada requiere del conocimiento de la zona y la experiencia del hidrólogo.

Para el cálculo del tiempo de concentración t_c , se puede emplear la fórmula de Kirpich⁷.

$$t_c = 0.06628 L^{0.77} S^{0.385} \quad (3.2)$$

Donde:

t_c	:	tiempo de concentración en horas.
L	:	Longitud del cauce en km.
S	:	Pendiente media del cauce principal calculada entre la máxima y la mínima elevación de la cuenca en m/m.

Tabla 3.1:

Coefficientes 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	0,50	1,00
Concreto/lecho	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 mayor del 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

Fuente: Ada Arancibia, Criterios para el Manejo de Quebradas y su aplicación en el Diseño de Obras Civiles, 1998⁸.

También se logró recopilar otras fórmulas empíricas para hallar la máxima avenida; éstas sólo requieren como parámetro el área de la cuenca y se muestran a continuación en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: OTRAS FORMULAS EMPÍRICAS PARA HALLAR CAUDALES MÁXIMOS

Nº	AUTOR	PAIS	FORMULA	LIMITACIONES DE LA FORMULA
1	GETE		$Q_T = (4 + 16 \log T_r) \sqrt{A}$	Formula generalizada en España
2	MORGAN	ESCOCIA	$Q_T = 52.787CA^{0.5}$	C=1.00 Tr=500años C=0.585Tr=100años C=0.464 Tr=50 años C=0.215 Tr=5años
3	BRANSBY WILLIAMS	INGLATERRA	$Q_M = 79.412A^{0.32}$	Áreas mayores a 26 km ²
4	RYVES	INDIA	$Q = 10.106A^{0.67}$	
5	VALENTINI	ITALIA	$Q = 27A^{0.5}$	
6	SCIMENI	ITALIA	$Q_M = \left(\frac{600}{A+10} + 1 \right) A$	Área menores de 1000km ²
7	BARATTA	ITALIA	$Q_M = \left(\frac{280}{A} + 2 \right) A$	Cuencas montañosas
8	GIANDOTTI	ITALIA	$Q_M = \left(\frac{532.5}{A+16.2} + 5 \right) A$	Cuencas montañosas
9	FORTI	ITALIA	$Q_M = \left(\frac{500}{A} + 2 \right) A$	Lluvias máximas de 200 mm en 24 horas
10	KUICHLING	U.S.A.	$Q_M = \left(\frac{3596.24}{A+958.295} + 0.081 \right) A$	Avenidas poco frecuentes
11	HYDERABAD	INDIA	$Q_M = 49.554(0.3861A)^{0.9495 - \frac{1}{14} \text{Log} A}$	Rio Tungabhadra
12	CREAGER	U.S.A.	$Q = 39.077(0.3861A)^{0.936A^{-0.46}}$	Avenidas Normales

Área : Área de la cuenca en km².

Tr : Periodo de retorno en años.

Q_{Tr} : Gasto de Avenida máxima para un Tr, en m³/s.

Q_M : Gasto de avenida máxima, en m³/s.

Q : Gasto de avenida normal, en m³/s.

Cuadro elaborado por el Ing. D. Fco. Campos Aranda.

Fuente: Ada Arancibia, 1998⁹.

3.1.2 MÉTODOS HIDROLOGICOS: ESTADISTICOS

- Método de Gumbel
- Método Log-Pearson tipo III
- Método de la curva de Probabilidades

Los métodos estadísticos antes mencionados, fueron aplicados a los datos Pluviométricos de la estación de Santa Eulalia, según figuran en la tabla 3.3, generándose las tablas 3.4 de precipitación máxima diaria anual y la tabla 3.5 de descargas máximas, extraídas de Tesis de Grado: “El Tratamiento del Huayco de la Subcuenca Santa Maria – Yanacoto N° 5 Chosica”, Fernández Cheng, Daniel A., 1992.

Tabla 3.3: Estación Santa Eulalia
Precipitación máxima diaria

Dia de máxima lluvia		(mm)
Año	Precipitación	Fecha
1964	5,4	(15 feb)
1965	1,2	(12 dic)
1966	26,0	(30 ene)
1967	29,8	(07 feb)
1968	0,5	(16 may)
1969	10,6	(10 mar)
1970	30,8	(14 ene)
1971	14,5	(27 mar)
1972	20,0	(12 mar)
1973	19,2	(09 ene)
1974	6,0	(11 mar)
1975	14,5	(01 mar)
1976	30,0	(02 feb)
1977	8,0	(19 mar)
1978	6,8	(06 mar)
1979	10,0	(08 mar)
1980	10,0	(15 mar)
1981	10,0	(02 feb)
1982	5,6	(11 dic)
1983	8,0	(12 mar)
1984	10,5	(19 feb)
1985	0,3	

Fuente: Daniel Fernández, El Tratamiento del Huayco de la Subcuenca Santa Maria – Yanacoto N° 5 Chosica, 1992¹⁰.

Tabla 3.4: Estación Santa Eulalia
Precipitación máxima diaria anual

PRECIPITACION			Unidad: mm
PERIODO DE RETORNO (Años)	GUMBEL	LOG-PEARSON TIPO III	ESTADÍSTICO
2	11,23	10,89	14,00
5	21,28	22,22	19,50
10	27,94	28,06	24,33
15	31,69	30,57	27,30
20	34,32	32,14	29,00
25	36,35	33,16	31,00
50	42,59	35,64	34,55
100	48,78	37,33	39,31
200	54,95	40,04	44,12
500	63,09	41,89	50,50
1000	69,24	42,95	57,23

Fuente: Daniel Fernández, 1992¹¹.

Tabla 3.5: Estación Santa Eulalia

DESCARGAS MAXIMAS (M3/S)			
PERIODO DE RETORNO (Años)	GUMBEL	LOG-PEARSON TIPO III	ESTADÍSTICO
2	9,20	8,90	11,40
5	17,40	18,20	15,90
10	22,80	22,90	19,90
15	25,90	25,00	22,30
20	28,10	26,30	23,70
25	29,70	27,10	25,30
50	34,80	29,10	28,20
100	39,90	30,50	32,10
200	44,90	32,70	36,10
500	51,60	34,20	41,30
1000	56,60	35,10	46,80

Fuente: Daniel Fernández, 1992¹².

REVISIÓN DE ESTUDIOS EXISTENTES

Precipitaciones máximas

Para la zonificación de las precipitaciones máximas se ha recopilado de diversas fuentes y obtenido la información del SENAMHI para precipitaciones máximas diarias. En la siguiente tabla 3.6, se resumen los resultados en materia de

precipitaciones máximas que han permitido la elaboración de isoyetas con periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, y 100 años.

Tabla 3.6: Resumen estadístico de precipitaciones máximas en 24 horas (mm)

Estación	Altura (msnm)	Periodo de retorno en Años					
		2	5	10	25	50	100
Von Humboldt	238	1,1	1,8	2,3	3,0	3,5	4,0
Ñaña	460	0,9	2,1	3,3	5,3	7,2	9,5
Santa Eulalia	1030	9,0	17,2	22,6	29,5	34,6	39,7
Matucana	2378	16,4	22,8	27,0	32,5	36,5	40,6
Carampoma	3250	22,0	27,2	30,4	34,3	37,1	39,7
San Jose de Parac	3800	21,7	28,0	32,0	36,9	40,4	43,9
Milloc	4350	16,7	23,2	27,3	32,2	35,6	39,0

Fuente: Sergio Silva, "Estudios de control de protección de flujos de lodos en las Microcuencas de Quirio y Pedregal - Chosica", 2001¹³.

El estudio más reciente lo constituye el realizado por la Agencia Internacional de Cooperación del Japón, en 1988, titulado "Final Report for the Master Plan Study on the Disaster Prevention Project in the Rímac River Basin". En este estudio se presentan los caudales máximos de avenidas en subcuencas del río Rímac, que fueron determinados por la aplicación del Hidrograma Sintético de Nakayasu, que ha sido utilizado con éxito en otros países para la simulación de hidrogramas de crecidas, cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 3.7: Cálculo de las curvas regionales de crecidas
(Caudales en la cuenca /subcuencas tributarias)

Nombre	Area (km ²)	Caudales en m ³ /s Periodo de retorno en Años					
		2	5	10	20	50	100
Q. Carosio	0,4	2	3	4	5	7	8
Q. Corrales	1,4	4	7	9	11	15	18
Q. Quirio	10,4	18	28	38	48	64	75
Q. Pedregal	10,6	18	28	38	47	62	73
Q. Paihua	14,9	40	56	69	82	99	114
Q. Cashahuacra	15,1	26	39	53	65	86	100
Q. Rio Seco	49,3	71	101	127	153	191	220
R. Rimac en Chosica	2250,0	204	290	380	470	580	660

Fuente: Sergio Silva, 2001¹⁴.

Asimismo, se ubicó en el informe Titulado “Final Report for the Master Plan Study on the Disaster Prevention Project in the Rímac River Basin”, de 1988¹⁵, la metodología con la cual se aplicó el método racional para hallar los valores de la tabla 3.7, que a continuación se detalla:

$$Q = \frac{CiA}{3.6} \quad (3.3)$$

Donde: Q : en m³/s.
i : en mm/hora.
A : en km².

El Coeficiente de Escorrentía lo aproximan a 0.80, conforme se aprecia en el tomo I, página II – 7 – 2 – 2, de dicho informe.

Para el cálculo de la intensidad de precipitación, emplean la siguiente fórmula:

$$i = \left(\frac{R}{24} \right) \left(\frac{24}{t_c} \right)^{2/3} \quad (3.4)$$

Donde: i : Máxima intensidad de precipitación durante el tiempo de concentración (mm/hr).
R : Máxima precipitación diaria para un periodo de retorno en mm.
t_c : Tiempo de concentración en horas.

Para el cálculo del tiempo de concentración t_c, se emplea la fórmula:

$$t_c = \frac{Lc}{3600W} \quad (3.5)$$

Donde: t_c : Tiempo de concentración en horas.
Lc : Longitud del cauce de concentración en m.
W : Velocidad del flujo de escombros lo estiman en 3.0 m/s.

Luego aplicamos las formulas 3.3, 3.4 y 3.5, a nuestros datos, también los recopilados en la tabla 3.4, así como los obtenidos en el anexo 1, modelamiento con Flo - 2D, para hallar el caudal de diseño de nuestra cuenca, los resultados se muestran en la siguiente tabla 3.8.

Tabla 3.8: Cálculo del caudal de diseño.

	JICA Pedregal	JICA Quirio	JICA inferido Santo Domingo	Modela miento	Gumbel	Log- Pearson III	Estadis tico
Hallando longitud de cauce de concentración							
L cauce (m) =	6000	4500	3850	3850	3850	3850	3850
L concen / L cauce =	0,53	0,67	0,60	0,57	0,60	0,60	0,60
L concentrac (m) =	3200	3000	2310	2210	2310	2310	2310
Hallando intensidad de precipitación (formulas 3,4 y 3,5)							
P(mm) =	39,7	39,7	39,7	38,3	48,78	37,33	39,31
V (m/s) =	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
I (mm/h) =	30,97	32,33	38,48	38,24	47,28	36,19	38,10
Aplicación del Método Racional (JICA)							
coef =	0,278	0,278	0,278	0,278	0,278	0,278	0,278
C =	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
I (mm/h) =	30,97	32,33	38,48	38,24	47,28	36,19	38,10
A(km²) =	10,6	10,4	4,13	4,13	4,13	4,13	4,13
Q (m³/s) =	73,00	74,78	35,35	35,12	43,43	33,24	35,00

Fuente: Elaboración propia.

Como podemos apreciar en la segunda y tercera columna, son los datos de las quebradas de Pedregal (10.6 km²) y Quirio (10.4 km²), los resultados son los que aparecen en la tabla 3.7, las columnas 4, 5, 6, 7 y 8, son los datos de nuestra cuenca, Santo Domingo, con las diferentes precipitaciones máximas diarias para un periodo de retorno de 100 años, la precipitación de la columna 4, es la hallada por el estudio JICA, la de la columna 5 corresponde a la precipitación hallada para el modelamiento, las precipitaciones de las columnas 6, 7 y 8 corresponden a la tabla 3.4, con registros de 1964-85 de la estación de Santa Eulalia, como se pueden apreciar los resultados del caudal tiende a converger entre 33 y 36 m³/s, el hallado con los datos de precipitación por el método de Gumbel se aleja de este rango por lo que se descarta.

Así también, evaluamos los datos de nuestra quebrada con las fórmulas de la tabla 3.2; cabe señalar que estas fórmulas se han desarrollado para cuencas específicas, los resultados se muestran en la tabla 3.9.

Tabla 3.9: Evaluación los datos de la cuenca en las formulas empíricas de la tabla 3.2

DATOS: Area (km ²) = 4,13				
Tr (años) = 100				
Métodos				
1	GETE		m ³ /s	73,16
2	MORGAN	ESCOCIA	m ³ /s	62,76
3	BRANSBY WILLIAMS	INGLATERRA	m ³ /s	125,02
4	RYVES	INDIA	m ³ /s	26,14
5	VALENTINI	ITALIA	m ³ /s	54,87
6	SCIMENI	ITALIA	m ³ /s	179,50
7	BARATTA	ITALIA	m ³ /s	288,26
8	GIANDOTTI	ITALIA	m ³ /s	128,83
9	FORTI	ITALIA	m ³ /s	39,65
10	KUICHLING	U.S.A.	m ³ /s	15,77
11	HYDERABAD	INDIA	m ³ /s	75,61
12	CREAGER	U.S.A.	m ³ /s	59,18

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados varían en un rango de 26 a 289 m³/s. Estas fórmulas principalmente solo emplean el área de la cuenca como dato, mayormente han surgido del estudio de cuencas identificadas, por lo que existe ese rango de variación para un solo dato de entrada.

Asimismo, la Ing. Ada Arancibia propone utilizar el método racional para cuencas menores a 12.5 km².

Tabla 3.10: Relaciones entre el tamaño de la cuenca y las metodologías de cálculo.

	Pequeña	Mediana	Grande
	A < 12.5 km ²	12.5 a 1040 km ²	A > 1040 km ²
Métodos Empíricos:	APLICABLE	NO APLICABLE	NO APLICABLE
Método Racional			
Métodos Hidrológicos	NO	APLICABLE	A VECES
Hidrogramas Unitarios	APLICABLE		
Metodologías de Transito de Avenidas	A VECES	A VECES	APLICABLE

Fuente: Ada Arancibia, 1998.

Volviendo a los resultados hallados por el método racional, regionalizado por el JICA para la cuenca del río Rímac, elegimos el caudal de $35 \text{ m}^3/\text{s}$ como la magnitud más probable de la avenida que puede discurrir por la quebrada Santo Domingo.

Adicionalmente, afectamos es caudal por un factor de seguridad, en las tesis revisadas, respecto a las quebradas de Pedregal, Quirio y Santa Maria aplican un factor de seguridad de 2, pero no se da mayor sustento del por qué, además no existe norma ni parámetros que señalen utilizar tal o cual factor de seguridad, por lo que se realiza una inferencia, las quebradas de Santa Maria, Quirio y Pedregal cuentan en su lecho principal con anchos considerables, así como contienen gran cantidad de sedimentos en su cauce, esto se observa de la bibliografía revisada y de la visita a campo a Pedregal, observando la gran potencia de sedimentos que se encuentran el cauce de la quebrada, siendo este el componente que influye en el incremento del caudal de escurrimiento, el caudal se incrementa debido a los sedimentos que se encuentran en la trayectoria de escurrimiento y que pudieran ser transportados, se toma como referencia de análisis las quebradas señaladas por que pertenecen a la cuenca del río Rímac, además de poseer similares características hidrológicas, geológicas y geotécnicas, luego de apreciar las fotografías satelitales a las que se puede acceder mediante el Google Earth, se observa que la quebrada no posee gran cantidad de material en su cauce en comparación con las quebradas señaladas, por lo que se elige un factor de seguridad de 1.5.

Si se hubiera elegido un factor de 1.2 por ejemplo, no se estaría dando la holgura necesaria para absorber cualquier eventualidad, si se eligiera un factor cercano a 2, se estaría afirmando que las consideraciones anteriormente señaladas, de sedimentos, no se han tomado en cuenta, de cierta manera se estaría sobredimensionado una obra que va ser requerida solamente en épocas de lluvia excepcionales cuando realmente ocurra un fenómeno de El niño, cabe señalar que los daños causados por el huayco de 1998, se debieron a que el cauce no estaba definido y no contaba con el debido mantenimiento, siendo estos los factores que realmente acrecentaron la magnitud del evento.

Tomando las consideraciones señaladas, se elige el factor de 1.5, dando como resultado un caudal de diseño de $52.5 \text{ m}^3/\text{s}$; ésta es la magnitud con que se deberá diseñar el encauzamiento de la quebrada.

3.2 HIDRÁULICA

CALCULO DEL CAUDAL DE ESCURRIMIENTO

El cálculo de los caudales, es un paso previo al dimensionamiento del cauce, es decir, encontrar la sección transversal para transportar el flujo aluvional, a través de un cauce canalizado, para nuestro caso es de 52.5 m³/s.

Formula de Manning.- Método hidrológico que puede emplearse para darnos un tope límite, a pesar de que dicha fórmula es válida para agua y fluidos permanentes y uniformes. Los huaycos distan mucho de estas características; la densidad del flujo aluvional, su capacidad de arrastre y su poder erosivo son mayores a los del agua, pero estas características van variando a lo largo de su recorrido debido a que el huayco en su inicio contiene poco agua en relación con su volumen, pero conforme va avanzando, se va quedando material sólido en el camino, como consecuencia el volumen de agua aumenta, disminuyendo su densidad, capacidad de arrastre y poder erosivo a tal grado que puede compararse con el agua, además relaciona el área de la sección con la pendiente, rugosidad del cauce y nos permite obtener la velocidad del flujo.

Formula de Manning:
$$Q = \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{n} \quad (3.6)$$

Donde:	Q	:	Caudal en m ³ /s.
	A	:	Área en m ² .
	R	:	Radio hidráulico en m ² /m.
	S	:	Pendiente en m/m.
	n	:	Coefficiente de rugosidad de manning.

Los datos requeridos, son fáciles de obtener; el valor del coeficiente de rugosidad se obtiene de tablas que se hallan en libros de hidrología, es así que para cauces con características de la quebrada de Santo Domingo, y revisando la información recopilada de la Tesis de Grado: "El Tratamiento del Huayco de la Subcuenca Santa María – Yanacoto N° 5 Chosica", del Ing. Fernández Cheng, Daniel A., se adopta como coeficiente de rugosidad n =

0.048, se considera además que el valor máximo de la velocidad debe ser de 8 m/s, cuando se usa roca como material de encauzamiento, adicionalmente las velocidades que se han estimado para huaycos son de 3 – 5 m/s.

Teniendo en cuenta estas observaciones procedemos a calcular las secciones hidráulicas de nuestro encauzamiento.

El análisis de las secciones hidráulicas, consiste en:

- i) Dada una pendiente y una rugosidad establecidas, propias del área en estudio, elegimos un ancho para la base del encauzamiento y luego proponemos una serie de tirantes.
- ii) Con los datos definidos, aplicamos la fórmula de Manning para hallar el caudal y la velocidad, luego comparamos que sección desarrolla una velocidad inferior a 8 m/s y además es capaz de contener nuestro caudal de diseño que es de 52.5 m³/s.
- iii) Identificamos la(s) sección(es) que cumple las condiciones anteriores, con la velocidad de ésta(s) y nuestro caudal de diseño, hallamos el área y el tirante que demandaría el tránsito de nuestro caudal, con la velocidad hallada.
- iv) Luego con nuestro caudal de diseño y el ancho del encauzamiento como datos, evaluamos la sección para diferentes velocidades comprendidas entre 3 y 5 m/s, hallando los tirantes correspondientes, para damos una idea de la sección que utilizaríamos como encauzamiento.

Este procedimiento se desarrollo para pendientes de 3 a 11%, por ser éste el rango de pendientes que se encuentran en nuestra zona de encauzamiento, y anchos de 5 y 6 metros, por ser el ancho actual de las secciones de la zona a encauzar, de este modo evitar hacer demasiados movimientos de tierra, los resultados se muestran en las siguientes tablas, para $n = 0.048$, pendientes S de 3%, 5% 10% y 11%, y anchos b igual a 5 y 6 m.

Tabla 3.11: Cálculo de las secciones hidráulicas.

($n = 0.048$, $S = 11\%$, $b = 5$ m)

b (m) =	5	5	5	5	5	5
h (m) =	1	1,5	2	2,5	3	3,5
Z(H:V Z:1) =	0	0	0	0	0	0
A (m²) =	5	7,5	10	12,5	15	17,5
P (m) =	7	8	9	10	11	12
S (m/m) =	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
n =	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048
Q (m³/s) =	27,61	49,64	74,12	100,22	127,45	155,50
V (m/s) =	5,52	6,62	7,41	8,02	8,50	8,89
Q (m³/s) =			52,5			
V (m/s) =			7,41			
A (m²) =			7,08			
b (m) =			5			
h (m) =			1,42			
Q (m³/s) =			52,5			
V (m/s) =			3,00			
A (m²) =			17,50			
b (m) =			5			
h (m) =			3,50			
Q (m³/s) =			52,5			
V (m/s) =			4,00			
A (m²) =			13,125			
b (m) =			5			
h (m) =			2,63			
Q (m³/s) =			52,5			
V (m/s) =			5,00			
A (m²) =			10,50			
b (m) =			5			
h (m) =			2,10			

Tabla 3.12: Cálculo de las secciones hidráulicas.

($n = 0.048$, $S = 11\%$, $b = 6$ m)

b (m) =	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
h (m) =	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Z(H:V Z:1) =	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A (m²) =	6	9	12	15	18	21
P (m) =	8	9	10	11	12	13
S (m/m) =	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
n =	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048
Q (m³/s) =	34,22	62,19	93,63	127,45	162,98	199,77
V (m/s) =	5,70	6,91	7,80	8,50	9,05	9,51
Q (m³/s) =		52,50	52,50			
V (m/s) =		6,91	7,80			
A (m²) =		7,60	6,73			
b (m) =		6,00	6,00			
h (m) =		1,27	1,12			
Q (m³/s) =		52,50	52,50			
V (m/s) =		3,00	3,00			
A (m²) =		17,50	17,50			
b (m) =		6,00	6,00			
h (m) =		2,92	2,92			
Q (m³/s) =		52,50	52,50			
V (m/s) =		4,00	4,00			
A (m²) =		13,13	13,13			
b (m) =		6,00	6,00			
h (m) =		2,19	2,19			
Q (m³/s) =		52,50	52,50			
V (m/s) =		5,00	5,00			
A (m²) =		10,50	10,50			
b (m) =		6,00	6,00			
h (m) =		1,75	1,75			

Tabla 3.13: Cálculo de las secciones hidráulicas.
($n = 0.048$, $S = 10\%$, $b = 5$ m)

b (m) =	5	5	5	5	5	5
h (m) =	1	1,5	2	2,5	3	3,5
Z(H:V Z:1) =	0	0	0	0	0	0
A (m²) =	5	7,5	10	12,5	15	17,5
P (m) =	7	8	9	10	11	12
S (m/m) =	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
n =	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048
Q (m³/s) =	26,32	47,33	70,67	95,56	121,52	148,26
V (m/s) =	5,26	6,31	7,07	7,64	8,10	8,47
Q (m³/s) =			52,5	52,5		
V (m/s) =			7,07	7,64		
A (m²) =			7,43	6,87		
b (m) =			5	5		
h (m) =			1,49	1,37		
Q (m³/s) =			52,5	52,5		
V (m/s) =			3,00	3,00		
A (m²) =			17,50	17,50		
b (m) =			5	5		
h (m) =			3,50	3,50		
Q (m³/s) =			52,5	52,5		
V (m/s) =			4,00	4,00		
A (m²) =			13,13	13,13		
b (m) =			5	5		
h (m) =			2,63	2,63		
Q (m³/s) =			52,5	52,5		
V (m/s) =			5,00	5,00		
A (m²) =			10,50	10,50		
b (m) =			5	5		
h (m) =			2,10	2,10		

Tabla 3.14: Cálculo de las secciones hidráulicas.
($n = 0.048$, $S = 10\%$, $b = 6$ m)

b (m) =	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
h (m) =	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Z(H:V Z:1) =	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A (m²) =	6	9	12	15	18	21
P (m) =	8	9	10	11	12	13
S (m/m) =	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
n =	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048
Q (m³/s) =	32,63	59,29	89,27	121,52	155,39	190,47
V (m/s) =	5,44	6,59	7,44	8,10	8,63	9,07
Q (m³/s) =		52,50	52,50			
V (m/s) =		6,59	7,44			
A (m²) =		7,97	7,06			
b (m) =		6,00	7,00			
h (m) =		1,33	1,01			
Q (m³/s) =		52,50	52,50			
V (m/s) =		3,00	3,00			
A (m²) =		17,50	17,50			
b (m) =		6,00	6,00			
h (m) =		2,92	2,92			
Q (m³/s) =		52,50	52,50			
V (m/s) =		4,00	4,00			
A (m²) =		13,13	13,13			
b (m) =		6,00	6,00			
h (m) =		2,19	2,19			
Q (m³/s) =		52,50	52,50			
V (m/s) =		5,00	5,00			
A (m²) =		10,50	10,50			
b (m) =		6,00	6,00			
h (m) =		1,75	1,75			

Tabla 3.15: Cálculo de las secciones hidráulicas.
($n = 0.048$, $S = 3\%$, $b = 5$ m)

b (m) =	5	5	5	5	5	5
h (m) =	1	1,5	2	2,5	3	3,5
Z(H:V Z:1) =	0	0	0	0	0	0
A (m²) =	5	7,5	10	12,5	15	17,5
P (m) =	7	8	9	10	11	12
S (m/m) =	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
n =	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048
Q (m³/s) =	14,42	25,92	38,71	52,34	66,56	81,21
V (m/s) =	2,88	3,46	3,87	4,19	4,44	4,64
Q (m³/s) =					52,5	52,5
V (m/s) =					4,44	4,64
A (m²) =					11,83	11,31
b (m) =					5	5
h (m) =					2,37	2,26
Q (m³/s) =					52,5	52,5
V (m/s) =						3,00
A (m²) =						17,50
b (m) =					5	5
h (m) =						3,50
Q (m³/s) =					52,5	52,5
V (m/s) =						4,00
A (m²) =						13,125
b (m) =					5	5
h (m) =						2,625
Q (m³/s) =					52,5	52,5
V (m/s) =						5,00
A (m²) =						10,5
b (m) =					5	5
h (m) =						2,1

Tabla 3.16: Cálculo de las secciones hidráulicas.
($n = 0.048$, $S = 3\%$, $b = 6$ m)

b (m) =	6	6	6	6	6	6
h (m) =	1	1,5	2	2,5	3	3,5
Z(H:V Z:1) =	0	0	0	0	0	0
A (m²) =	6	9	12	15	18	21
P (m) =	8	9	10	11	12	13
S (m/m) =	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
n =	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048
Q (m³/s) =	17,87	32,48	48,90	66,56	85,11	104,33
V (m/s) =	2,98	3,61	4,07	4,44	4,73	4,97
Q (m³/s) =				52,50	52,50	52,50
V (m/s) =				4,44	4,73	4,97
A (m²) =				11,83	11,10	10,57
b (m) =				6	6	6
h (m) =				1,97	1,85	1,76
Q (m³/s) =				52,50	52,50	52,50
V (m/s) =				3,00		
A (m²) =				17,50		
b (m) =				6	6	6
h (m) =				2,92		
Q (m³/s) =				52,50	52,50	52,50
V (m/s) =				4,00		
A (m²) =				13,13		
b (m) =				6	6	6
h (m) =				2,19		
Q (m³/s) =				52,5	52,5	52,5
V (m/s) =				5,00		
A (m²) =				10,50		
b (m) =				6	6	6
h (m) =				1,75		

3.3 MODELAMIENTO NUMERICO DE FLUJOS DE ESCOMBROS Y LODOS (FLO - 2D)

Los flujos de escombros está compuesto por mezclas de agua, suelo, piedras, bloques, troncos, etc, que se originan en lo alto de las quebradas y se desplazan torrencialmente por el cauce debido a las fuertes pendientes, causando destrozos a su paso. Cuando llegan a zonas de menor pendiente se depositan, formando conos de deyección o abanicos aluviales de gran poder destructivo.

Los mecanismos que desatan estos fenómenos pueden ser lluvias intensas o períodos lluviosos prolongados, terremotos, erupciones, factores antrópicos (hechos por el hombre) o una combinación de ellos. Estos fenómenos producen deslizamientos o derrumbes, erosión del lecho o taludes, represamientos temporales para su posterior rotura.

Debido a que el flujo de escombros contiene un alto porcentaje de sólidos, éstos son un gran peligro para la población que vive al borde de estas quebradas, y un factor de riesgo para la infraestructura vital (carreteras, acueductos, líneas de transmisión, etc.), siendo necesario difundir la teoría de flujo de escombros para poder señalar medidas de mitigación y control.

Entonces, uno de los pasos a considerar para resolver esta problemática es evaluar la aplicabilidad de los modelos numéricos disponibles en nuestra realidad.

MODELAMIENTO DE FLUJOS DE LODOS Y ESCOMBROS

Antes de proceder al modelamiento, debemos conocer que tipos de fluidos son los flujos de lodo y escombros. Existen dos tipos de fluidos: Newtonianos y los no-Newtonianos. Al hablar sobre flujos no Newtonianos nos referimos a flujos viscosos que requieren cierta fuerza para poder fluir.

La siguiente gráfica, nos va ayudar a entender, las diferentes clases de fluidos no - Newtonianos que existen:

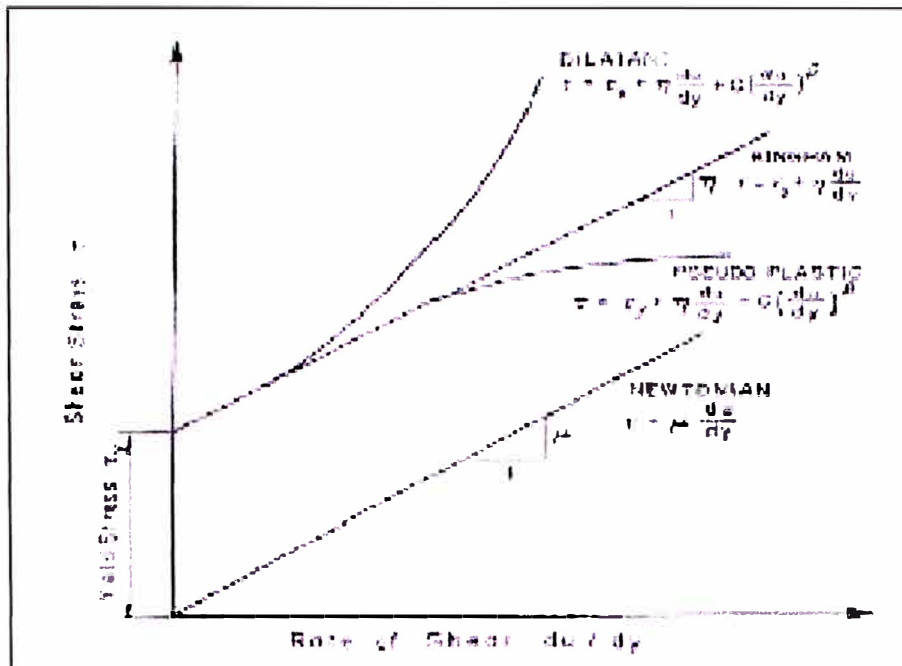


Figura 3.1

Esfuerzos cortantes en función de du/dy para modelos de deformación del fluido

Fuente: FLO-2d Manual's User

Por ejemplo el Modelo Numérico BOSS-DAMBRK tiene una opción para modelar flujos de lodo utilizando un fluido tipo Bingham. Otro Modelo Numérico que también modela flujos hiperconcentrados (alta concentración de sedimentos) es el FLO-2D que utiliza fluidos dilatantes.

Antiguamente se han desarrollado modelos de flujos de lodo y escombros, utilizando modelos reológicos para desarrollar su comportamiento. Entre ellos tenemos: El Modelo Dilatante de Bagnold, Modelo Cuadrático de O'Brien & Julie, Modelo viscoso de Coulomb, Modelos de fluido Bingham y Pseudoplásticos, Modelo de Takahashi, etc.

Como herramienta utilizaremos un Modelo Numérico Computacional para la simulación de flujos de lodo y escombros. Este modelo es el FLO-2D versión 2003 (O'Brien & Julien) aplicado en diferentes partes de Bolivia y Venezuela. En el Perú este modelo pertenece al área de Geología Ambiental del INGEMMET.

3.3.1 MODELO NUMERICO FLO-2D

Como es sabido, el movimiento de un fluido tan complejo como el que forma los aludes torrenciales no puede representarse por medio de los métodos que se aplican comúnmente para fluidos como el agua. Esto se debe a que la alta concentración de materia sólida en los aludes torrenciales hace que estos fluidos se comporten como fluidos no-newtonianos, en los que es necesario que actúe un esfuerzo superior a un esfuerzo crítico dado, para que el fluido se ponga en movimiento. Viceversa, si el esfuerzo actuante es inferior al esfuerzo crítico el fluido se detiene.

El modelo bidimensional de diferencias finitas FLO-2D (O'Brien et al., 1.993) simula flujo de fluidos no-newtonianos, como aludes torrenciales, en conos de deyección. El modelo permite simular flujo en topografías complejas, tales como áreas urbanizadas y planicies de inundación, así como el intercambio de fluido entre los canales y la planicie de inundación. Puede modelarse flujo de agua, flujo hiperconcentrado de sedimentos, flujo de barro y alud torrencial.

Como datos de entrada se requiere la topografía digital del terreno, la geometría del canal, valores estimados de la rugosidad del canal y de la planicie de inundación, hidrogramas de entrada (líquidos y sólidos), precipitación y propiedades reológicas de la mezcla agua-sedimento.

Es importante recordar que el fenómeno de flujo de barro y escombros es sumamente complejo y un modelo matemático es sólo una aproximación al problema. Por ejemplo, en un alud torrencial real, pueden ocurrir represamientos ocasionados por acumulaciones de troncos y rocas, sobre los cuales se acumula el fluido ocasionando altas presiones que pueden llegar a destruir la presa. El caudal generado por una de estas roturas puede ser varias veces mayor que el caudal pico predicho por un análisis hidrológico convencional de crecientes. Debido a la incertidumbre en cuanto a la ubicación y tiempo en que pueden ocurrir estas presas, el modelo FLO-2D no simula este tipo de fenómenos.

Las ecuaciones que utiliza el modelo FLO-2D son las de continuidad y cantidad de movimiento, integradas en la vertical:

$$i = \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hV}{\partial x} + \frac{\partial hV}{\partial y}$$

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_x}{\partial y} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_x}{\partial t}$$

$$S_{fy} = S_{oy} - \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_y}{\partial y} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_y}{\partial t}$$

Donde: h es la profundidad del flujo; V_x y V_y son las componentes de la velocidad media, t es el tiempo, g la aceleración de la gravedad, S_f es la pendiente de fricción; S_o la pendiente del lecho e i es intensidad de la precipitación.

Los esfuerzos cortantes en flujos de sedimento hiperconcentrados, incluyendo los descritos como flujos de escombros, flujos de lodo e inundaciones de lodo, pueden ser calculados de la suma de cinco componentes de esfuerzos al corte.

$$\tau = \tau_c + \tau_{mc} + \tau_v + \tau_t + \tau_d$$

Donde; el esfuerzo cortante total τ depende del esfuerzo límite cohesivo τ_c , el esfuerzo de Mohr-Coulomb τ_{mc} , el esfuerzo cortante viscoso τ_v , el esfuerzo cortante turbulento τ_t , y el esfuerzo cortante dispersivo τ_d . Cuando escribimos en términos de tasas de deformación (dv/dy) el siguiente modelo cuadrático reológico puede ser desarrollado (O'Brien and Julien, 1985):

$$\tau = \tau_y + \eta \left(\frac{dv}{dy} \right) + C \left(\frac{dv}{dy} \right)^2$$

Donde:

$$\tau_y = \tau_c + \tau_{mc}$$

y

$$C = \rho_m I_m^2 + f(\rho_m, C_v) d_s^2$$

En estas ecuaciones η es la viscosidad dinámica; τ_c es el esfuerzo de cadencia cohesivo; los esfuerzos de Mohr Coulomb $\tau_{mc} = p_s \tan\Phi$ dependen de la presión intergranular p_s y del ángulo de reposo Φ del material; C denota el coeficiente de

esfuerzos cortantes inerciales, el cual depende de la densidad de masa de la mezcla ρ_m , de la longitud de Prandtl l_m , del tamaño del sedimento d_s y de una función de concentración de sedimentos C_v .

El modelo usa un esquema centrado de diferencias finitas explícito para la solución de las ecuaciones diferenciales de movimiento. La topografía de la superficie se discretiza en una malla formada por celdas o elementos cuadrados de tamaño uniforme para toda el área de estudio y a cada elemento se le asigna una posición en la malla, una elevación o cota de terreno, un coeficiente de rugosidad (n de Manning), factores de reducción del flujo que atraviesa la celda para simular bloqueo por edificaciones.

Para una celda y un tiempo dados, se calcula el caudal neto que entra y sale por cada uno de los lados de dicho elemento. El cambio en el volumen resultante se distribuye uniformemente en el área disponible del elemento. Los pasos de tiempo varían según el criterio de estabilidad de Courant, lo que resulta en pasos de tiempo relativamente cortos, (típicamente entre 0.1 y 30 segundos). Esto depende de los hidrogramas de entrada y del tamaño de la malla de cálculo.

Las consideraciones adicionales y los resultados propios del modelamiento se desarrollan en toda amplitud en el Anexo 1.

CAPÍTULO IV: NOCIONES DE GEOLOGIA Y GEOTECNIA

Las investigaciones geológicas y geotécnicas en la quebrada Santo Domingo permiten conocer las características y parámetros físico-mecánicos de los suelos y rocas, donde se proyectan construir obras con fines de protección y prevención de desastres contra los huaycos.

La información que se desarrolla en este capítulo fue recopilada de la Oficina de Infraestructura - UNE, Proyecto: Defensa y Prevención de la Quebrada Santo Domingo. Universidad Nacional de Educación "Enrique Guzmán y Valle", 1999

El estudio tiene como objetivo determinar las condiciones geológicas y geotécnicas del área proyectada para la construcción de diques, muros de encauzamiento, obras de arte para cruce de canal, etc., con fines de dar la seguridad física a los asentamientos humanos ubicados en la parte baja y las instalaciones de la Universidad Nacional de Educación "Enrique Guzmán y Valle" La Cantuta, cuyos resultados de interpretación y cálculos geomecánicos servirán para elaborar los diseños correspondientes, según el planteamiento hidráulico del proyecto.

4.1 GEOLOGÍA REGIONAL

En la evaluación geológica de campo se definen las condiciones geológicas y geomorfológicas a escala 1:25000 de la cuenca.

En el levantamiento geológico de superficie se identificaron las unidades litoestratigráficas existentes, las unidades morfológicas actuales, las estructuras geológicas y los procesos de geodinámica externa que ha actuado a lo largo del tiempo en la quebrada de Santo Domingo.

4.1.1 Geología Estructural.

Las unidades geológicas existentes en la cuenca del río Rímac fueron afectadas por un tectonismo, originando fallas y plegamientos. Según datos de estudios

anteriores sobresalen fallas regionales cuyos sistemas predominantes son N 10° a 30°, N 70° a 100° y N 165° a N 180°.

Numerosas fisuras o diaclasamientos se observan en el Batolito de la Costa desarrolladas en la etapa tardía de consolidación del magma.

La roca intrusiva está afectada por un tectonismo terciario donde los sistemas predominantes son:

- N 80° W con buzamiento 50° NE
- N 15° W con buzamiento 70° sub-vertical
- N 45° E con buzamiento sub-vertical

4.1.2 Lito - Estratigrafía

El marco geológico regional del área de estudio está conformado por unidades geológicas que van desde el Terciario Inferior al Cuaternario Reciente, predominando los afloramientos de roca intrusiva de tipo dioritas y tonalita – granodioritas y depósitos inconsolidados de origen fluvio aluvionales, aluvionales, coluviales y/o coluvio deluviales.

Roca Intrusiva.

Comprende a la unidad denominada como Batolito de la Costa.

La diorita presenta una gradación de diorita básica de textura granular de grano medio a grueso, conteniendo plagioclasas en un 30% y ferromagnesianos en un 60%, hornblenda y biotitas con un peso específico alto, de resistente a muy resistente, roca fresca a moderada meteorización y un fracturamiento de moderado a muy intenso.

La tonalita – granodiorita de color gris a gris oscuro, de textura holocristalina de grano medio a grueso, con plagioclasa blanca dentro de una matriz oscura, dura, con un peso específico alto, de resistente a muy resistente, roca fresca a moderada meteorización y un fracturamiento de moderado a muy intenso.

4.1.3 Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos presentes en el área están condicionados a procesos tectónicos, lito-estratigráficos, climatológicos, etc., que han modelado a través de miles de años el relieve actual.

Las unidades geomorfológicas más importantes son:

Valles y Quebradas.

Comprende el valle del río Rímac y su afluente la quebrada (sub cuenca) Santo Domingo; la quebrada se encuentran durante la mayor parte del año en estado seco, presentando una escorrentía esporádica que ocurre durante los meses de Enero a Marzo (puede variar según la ocurrencia climatológica de la zona), principalmente ante al ocurrencia de el fenómeno "El Niño".

El fondo de las quebradas está definido según el tipo de depositación que ocurra, ya sean huaycos, derrumbes, conos de deyección, cauces recientes, terrazas de inundación, etc.

- Etribaciones de la Cordillera Occidental.

Presentan un relieve montañoso, caracterizándose por sus laderas de pendientes variadas y las crestas de los cerros semi aplanadas, con una morfología ábrupta, presentando un drenaje de tipo dendrítico y/o paralelo, los que confluyen hacia el cauce principal y luego hacia el río Rímac.

- Depósitos Fluvio Aluvionales

Suelos de textura granular gruesa a fina, constituidas por gravas arenosas y arenas gravosas, con finos de limos y/o arcillas en bajo porcentaje e inclusiones de cantos y algunos bloques angulosos a sub-angulosos, de naturaleza intrusiva; se localiza en el cauce de la quebrada.

- Depósitos Aluvionales.

Son depósitos heterogéneos compuestos por bloques y cantos con relleno de gravas, arenas, limos; son acumulaciones de material que resultan de la depositación de los materiales que fueron arrastrados por los flujos de barro y fragmentos de roca por la acción del agua y la gravedad, erosionando y transportando en forma temporal.

- Depósitos Coluviales y Coluvio deluviales.

Son depósitos heterogéneos, compuestos por escombros de fragmentos de roca, originados por la acción de la gravedad. En fracturamiento y la

meteorización de la roca basamento, localizándose en la base de las laderas de los cerros y en algunos casos es completada su depositación por acción del agua de las lluvias y arrastre de sedimentos finos.

4.1.4 Geodinámica Externa.

Para la generación de los fenómenos de Geodinámica Externa, intervienen directa y/o indirectamente factores estáticos y factores dinámicos. Dentro de los primeros consideramos los topográficos, estructurales (falla, estratificación, fracturas, pliegues, etc.), litológicos (suelos y rocas) e hidrometeorológicos; y dentro de los segundos se considera la acción de las aguas de lluvia que influyen en la inestabilidad de las masas rocosas; la actividad sísmica y la gravedad.

La quebrada se encuentran en proceso de evolución, originando acciones de erosión regresiva y acumulaciones, dando como consecuencia los huaycos y desbordamientos del río Rímac.

Se ha observado fenómenos de derrumbes, desprendimientos de roca, huaycos, erosión de riberas e inundaciones.

- Huaycos.

Los huaycos son los fenómenos que mayor daño ocasionan a los asentamientos humanos ubicados en la parte baja de la quebrada.

El torrente de Santo Domingo tiene el sector de mayor riesgo natural en su cono de deyección cuyo cauce ha sido modificado y no es definido por presentar cauces poco profundos, siendo la zona más vulnerable, debiendo tratarse el cauce actual.

4.2 GEOTECNIA

4.2.1 Geomorfología

Los sitios de fundación de los diques construidos en el cauce de la quebrada están sobre un relieve con sección transversal en forma de "V", pendientes de 35° a 40° en la margen derecha y de 40° a 45° en la margen izquierda, en la zona donde se inicia el cono de deyección, el cauce es semi-plano con la presencia de algunos bloques.

4.2.2 Litología

La roca basamento es un intrusivo de tipo tonalita, de textura fanerítica de grano grueso, constituido por feldespatos, cuarzo, biotita y hornblenda.

Presentan variados sistemas de diaclasas, estando las principales en posición casi oblicua al alineamiento de la quebrada y dan origen a fragmentos de roca en forma tabular. La meteorización por procesos físico-mecánicos de la roca basamento va formando suelos granulares.

Los depósitos cuaternarios existentes son fluvio aluvionales, aluvionales, coluviales, constituidos por arenas con gravas, gravas arenosas con inclusiones de cantos y bloque de naturaleza intrusiva, de bordes angulosos, con diámetros de hasta 4,00 m.

4.2.3 Estabilidad de Taludes

La estabilidad de taludes en ambas márgenes de la quebrada se considera estable, siendo coincidentes con afloramientos de roca y pequeños escombros de roca al pie de las laderas, sin riesgo a fenómenos de geodinámica externa. Pero como medidas de prevención es necesario eliminar los bloques aparentemente superpuestos o poco enterrados.



Figura 4.1: Observamos un corte transversal al cono de deyección donde podemos apreciar la matriz del cono, arena limosa, bolonería que varía de 30cm hasta 1 metro de diámetro, que muestran la actividad que tuvo la quebrada; asimismo se puede apreciar que existen diferentes estratos de depósito.

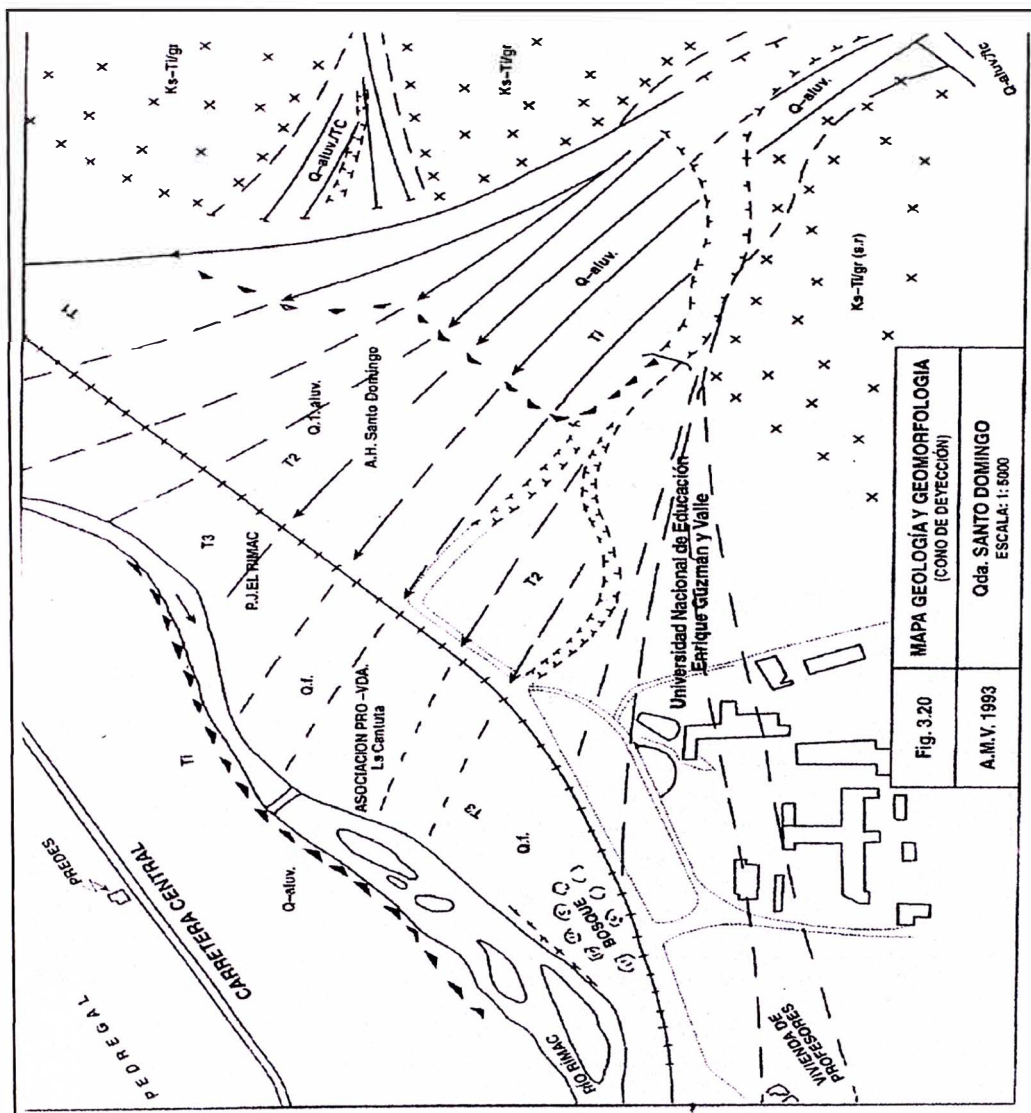


Figura 4.2: Mapa geológico y geomorfológico, cono de deyección,
Quebrada Santo Domingo

Fuente: Martínez V., Alberto, "Aporte sobre Huaycos e Inundaciones en el Perú",
Post Grado – UNI –FIC, 1999¹⁶.

CAPÍTULO V: INFORMACIÓN BÁSICA DE INGENIERIA PARA LAS OBRAS DE ENCAUZAMIENTO

5.1 INFORMACIÓN RECOPIADA

Zonas afectadas por los efectos del huayco – quebrada Santo Domingo

En el siguiente gráfico mostramos las posibles zonas afectadas dentro de la universidad nacional de educación ante la ocurrencia de un Huayco, que también fueron afectadas en Febrero de 1998.

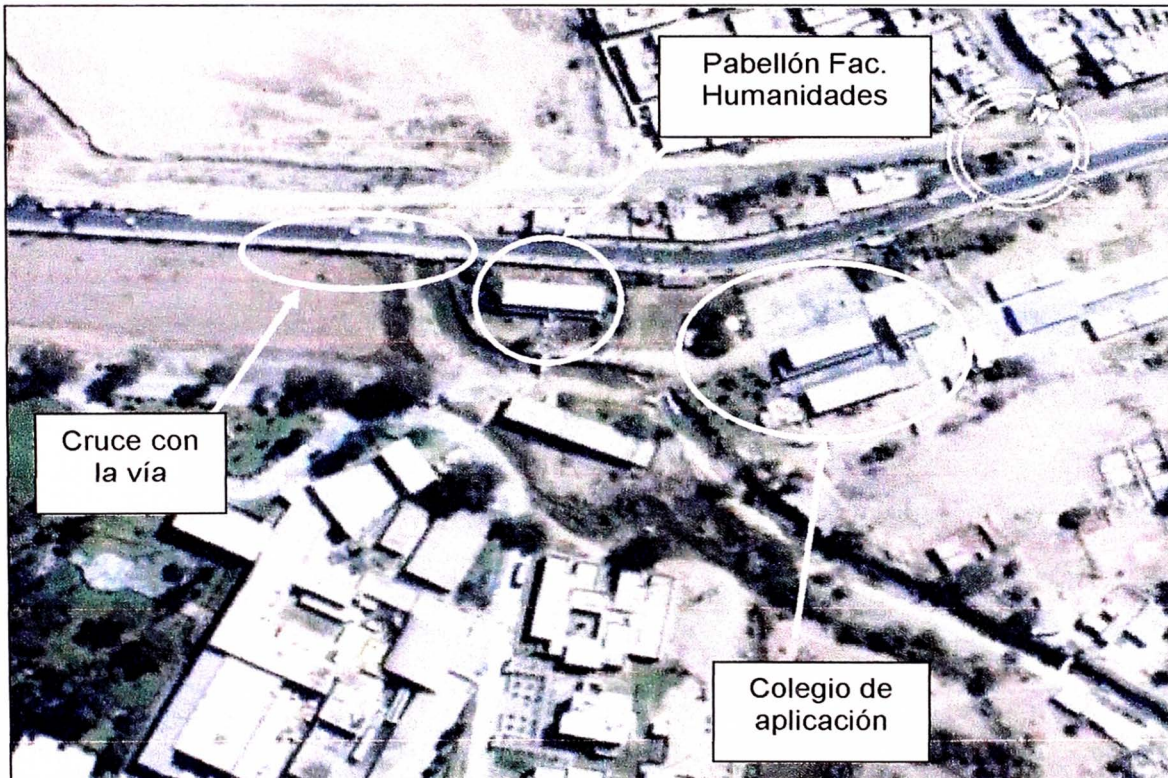


Figura 5.1

Del gráfico anterior se distinguen tres zonas, las cuales corresponden a:

- ✓ Accesos al campus.
- ✓ Pabellón de Humanidades.
- ✓ Colegio de Aplicación.

5.1.1 Hidrológica e Hidráulica

La Quebrada Santo Domingo pertenece a la cuenca del río Rímac, se ubica en la margen izquierda, es una quebrada poco estudiada y de reciente activación, hablando en términos hidráulicos.

La Sub-cuenca de la Quebrada Santo Domingo, se halla comprendida entre las coordenadas geográficas 76°39'50" y 76°42'10" de longitud Oeste del Meridiano de Greenwich; 11°56'20" y 11°57'20" de latitud Sur.

Políticamente se halla ubicada en el departamento de Lima, ocupando la provincia de Lima; con una variación altitudinal que va de los 850 a 1800 msnm.

a) Pluviometría

La esorrentía existente y producida en el área de estudio, proviene exclusivamente de las precipitaciones pluviales caídas en la zona.

Para realizar el presente estudio se dispone de los registros de precipitaciones en la estación pluviométrica Santa Eulalia, que puede ser considerada como representativa de la precipitación en la zona. Se encuentra en operación desde el año 1969, siendo la estación con mayor número de registros disponibles, las otras estaciones localizadas en el área se encuentran clausuradas hace varios años y no poseen mayor información.

Los registros de precipitación disponibles fueron recopilados de una tesis grado de la Universidad Nacional de Ingeniería como según se detalla en el capítulo III.

Las características de esta estación de Santa Eulalia son las siguientes:

Estación Pluviométrica	Ubicación		Provincia	Altitud msnm
	Latitud Sur	Longitud Oeste		
Santa Eulalia	11° 54' S	76° 40' W	Huachochiri	1030

b) Hidrometría

La quebrada que cruza la UNE – La Cantuta, no cuenta con estación de medición de caudales.

c) Cartografía

El desarrollo de la Quebrada se ubica íntegramente en el siguiente mapa del Instituto Geográfico Nacional (IGN), carta nacional a escala 1:100,000 siguiente:

Chosica Hoja 24 - J

Asimismo se ubica parcialmente en la carta nacional a escala 1:10,000 siguiente:

Chosica Hoja 24 – J II - 42

d) Fotos Satelitales

Se dispone de fotografías satelitales proporcionadas por el software Earth-google, con su servicio On-line en internet.

5.1.1.1 Caudales Máximos

Como no se cuenta con datos de caudales, las descargas máximas para el diseño del encauzamiento son estimadas en base a las precipitaciones y a las características de la cuenca colectora, tomando en cuenta el Método Racional.

Se halló el caudal de diseño en capítulo III, para un periodo de retorno de 100 años, siendo de 50 m/s.

5.1.1.2 Parámetros Geomorfológicos.

En la tabla 1.4.1 se observan los parámetros geomorfológicos estimados para la quebrada Santo Domingo.

Tabla 5.1: Cuadro resumen de las características morfológicas

CARACTERÍSTICA	FORMULA	RESULTADO Y COMENTARIO
Área (A)		4.13 km ² (cuenca pequeña)
Longitud del cauce (L)		3.85 km. (longitud del cauce principal)
Perímetro (P)		10.26 Km.
Parámetros de Forma de la Cuenca		
Factor Forma de Horton	$R_f = \frac{A}{L^2}$	Rf = 0.28
Índice de Gravellius	$I_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	Ic = 1.41 (cuanto más cercano es a 1.0, presenta una forma circular)

Razón de Circularidad	$R_{ci} = \frac{4\Pi A}{P^2}$	Rc = 0.49
Parámetros relativos al relieve		
Altitud máxima	m.s.n.m.	1750
Altitud mínima	m.s.n.m.	850
Pendiente Promedio		23%

5.1.2 GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA

El estudio geológico y de geotecnia plasmado en este informe tiene como base la información brindada por la Oficina de Infraestructura - UNE, Proyecto: Defensa y Prevención de la Quebrada Santo Domingo. Universidad Nacional de Educación "Enrique Guzmán y Valle", 1999; asimismo la información recopilada del Ing. Alberto Martínez, "Aporte sobre Huaycos e Inundaciones en el Perú". Adicionalmente se realizaron ensayos de laboratorio para determinar la granulometría en el cauce que se ubica dentro de la universidad, a fin de aportar más datos al modelamiento con Flo-2D. A continuación se presentan los resultados de estos ensayos.

Cuadro 5.1: Granulometría Calicata C-1 (1999)

Tamiz	Abertura (mm)	Parcial (%)	Retenido (%)	
			Retenido	Pasa
3"	76,200	-	-	100
2"	50,300	18,0	18	82
1 1/2"	38,100	13,0	31	69,0
1"	25,400	15,0	46	54,0
3/4"	19,050	7,0	53	47,0
1/2"	12,700	5,0	58	42,0
3/8"	9,525	4,0	62	38,0
1/4"	6,350	5,0	67	33,0
N° 4	4,760	3,0	70	30,0
N° 10	2,000	2,0	72	28,0
N° 20	0,840	2,0	74	26,0
N° 30	0,590		74	26,0
N° 40	0,426	9,0	83	17,0
N° 60	0,250	12,0	95	5,0
N° 100	0,149	3,0	98	2,0
N° 200	0,074	1,1	99,1	0,9
- N° 200		0,9		

% Grava	:	70,0
% Arena	:	29,1
% Finos	:	0,9

Clasificación SUCS: GP

Cuadro 5.2: Granulometría Calicata C-2 (1999)

Tamiz	Abertura (mm)	(% Parcial	(%	
			Retenido	Pasa
3"	76,200	-	-	100
2"	50,300	14,0	14	86
1 1/2"	38,100	15,0	29	71,0
1"	25,400	11,0	40	60,0
3/4"	19,050	8,0	48	52,0
1/2"	12,700	8,0	56	44,0
3/8"	9,525	4,0	60	40,0
1/4"	6,350	6,0	66	34,0
N° 4	4,760	3,0	69	31,0
N° 10	2,000	4,0	73	27,0
N° 20	0,840	8,0	81	19,0
N° 30	0,590		81	19,0
N° 40	0,426	5,0	86	14,0
N° 60	0,250	11,0	97	3,0
N° 100	0,149	1,0	98	2,0
N° 200	0,074	1,5	99,5	0,5
- N° 200		0,5		

% Grava	:	69,0
% Arena	:	30,5
% Finos	:	0,5

Clasificación SUCS: GP

Cuadro 5.3: Granulometría Calicata C-1 (2007)

Tamiz	Abertura (mm)	(% Parcial	(%	
			Retenido	Pasa
3"	76,200	-	-	100
2"	50,300	13,3	13,3	86,7
1 1/2"	38,100	9,1	22,4	77,6
1"	25,400	2,9	25,3	74,7
3/4"	19,050	5,8	31,2	68,8
1/2"	12,700	5,0	36,2	63,8
3/8"	9,525	3,0	39,2	60,8
1/4"	6,350	4,3	43,5	56,5
N° 4	4,760	4,1	47,6	52,4
N° 10	2,000	12,8	60,4	39,6
N° 20	0,840	15,9	76,3	23,7
N° 30	0,590	6,4	82,7	17,3
N° 40	0,426	4,5	87,3	12,7
N° 60	0,250	5,5	92,8	7,2
N° 100	0,149	2,9	95,7	4,3
N° 200	0,074	1,1	96,8	3,2
- N° 200		3,2		

% Grava	:	47,6
% Arena	:	49,2
% Finos	:	3,2

Clasificación SUCS:

Cuadro 5.4: Granulometría Calicata C-2 (2007)

Tamiz	Abertura (mm)	(% Parcial	(%	
			Retenido	Pasa
3"	76,200	-	-	100
2"	50,300	13,3	13,3	86,7
1 1/2"	38,100	9,1	22,4	77,6
1"	25,400	2,9	25,3	74,7
3/4"	19,050	5,8	31,2	68,8
1/2"	12,700	5,0	36,2	63,8
3/8"	9,525	3,0	39,2	60,8
1/4"	6,350	4,3	43,5	56,5
N° 4	4,760	4,1	47,6	52,4
N° 10	2,000	12,8	60,4	39,6
N° 20	0,840	15,9	76,3	23,7
N° 30	0,590	6,4	82,7	17,3
N° 40	0,426	4,5	87,3	12,7
N° 60	0,250	5,5	92,8	7,2
N° 100	0,149	2,9	95,7	4,3
N° 200	0,074	1,1	96,8	3,2
- N° 200		3,2		

% Grava	:	47,6
% Arena	:	49,2
% Finos	:	3,2

Clasificación SUCS:

Los certificados se adjuntan en Anexo 2.

5.2 TOPOGRAFÍA DE LA ZONA

En base al plano topográfico 1/10000 del IGN, se han estimado los datos más importantes del cauce.

- pendiente máxima: de 28 %
- pendiente mínima: de 3 %
- pendiente promedio: de 15 %

Estas pendientes se refieren a toda la extensión del cauce principal de la quebrada.

En nuestra zona de trabajo, en la cual se desarrolla el encauzamiento la pendiente varia de 3 a 11%.

Pendientes de las laderas:

- Margen derecha: 30 a 35°
- Margen izquierda: 30 a 40°

5.2 PARÁMETROS DE DISEÑO

5.3.1 PARAMETROS GEOTECNICOS

Roca Intrusiva:

Litología	: Tonalita
Grado de Meteorización	: Bajo a moderado
Grado de Fracturamiento	: Amplio a moderado
Peso Específico	: 2.65 (alto)
Valor de RMR	: 60 (bueno)
Clasificación Geomecánica	: Roca tipo II-III
Calidad Geomecánica	: Buena
Resistencia a la Compresión	: 1100 kg/cm ²
Carga Admisible	: 100 Kg/cm ²

Depósitos Aluvionales:

Clasificación SUCS	: GP – SP
Índice de Plasticidad	: No plástico
Densidad Natural	: 2.30 gr/cm ³
Densidad Relativa	: 52.2 a 54.7 %
Peso Específico de Grava	: 2.66 gr/cm ³
Humedad Natural	: 3.2 %
Compacidad	: Media a poco densa
Angula de Fricción Interna	: 36°
Cohesión	: 0
Carga Admisible	: 5.00 kg/cm ²

Información recopilada del Proyecto: Defensa y Prevención de la Quebrada Santo Domingo. Universidad Nacional de Educación “Enrique Guzmán y Valle”, 1999.

5.3.2 PARAMETROS HIDRAULICOS

De los cálculos realizados en el capítulo III, tenemos:

$$Q \text{ diseño} = 52.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V \text{ máx} = 7 \text{ m/s}$$

$$V \text{ mín} = 3 \text{ m/s}$$

De las secciones analizadas para pendientes de 3% a 11%, se sugiere utilizar las siguientes secciones:

Sección 1: b x h 5.0 m x 3.5 m

o

Sección 2: b x h 6.0 m x 3.0 m

Asimismo, a continuación se presentan los resultados del modelamiento utilizando el software Flo -2D, para velocidades, tirantes que se desarrollan en un huayco con un periodo de retomo de 100 años, también se puede apreciar las zonas que pudieran ser afectadas por la ocurrencia de este evento.



Figura 5.2: Tirantes máximos simulados

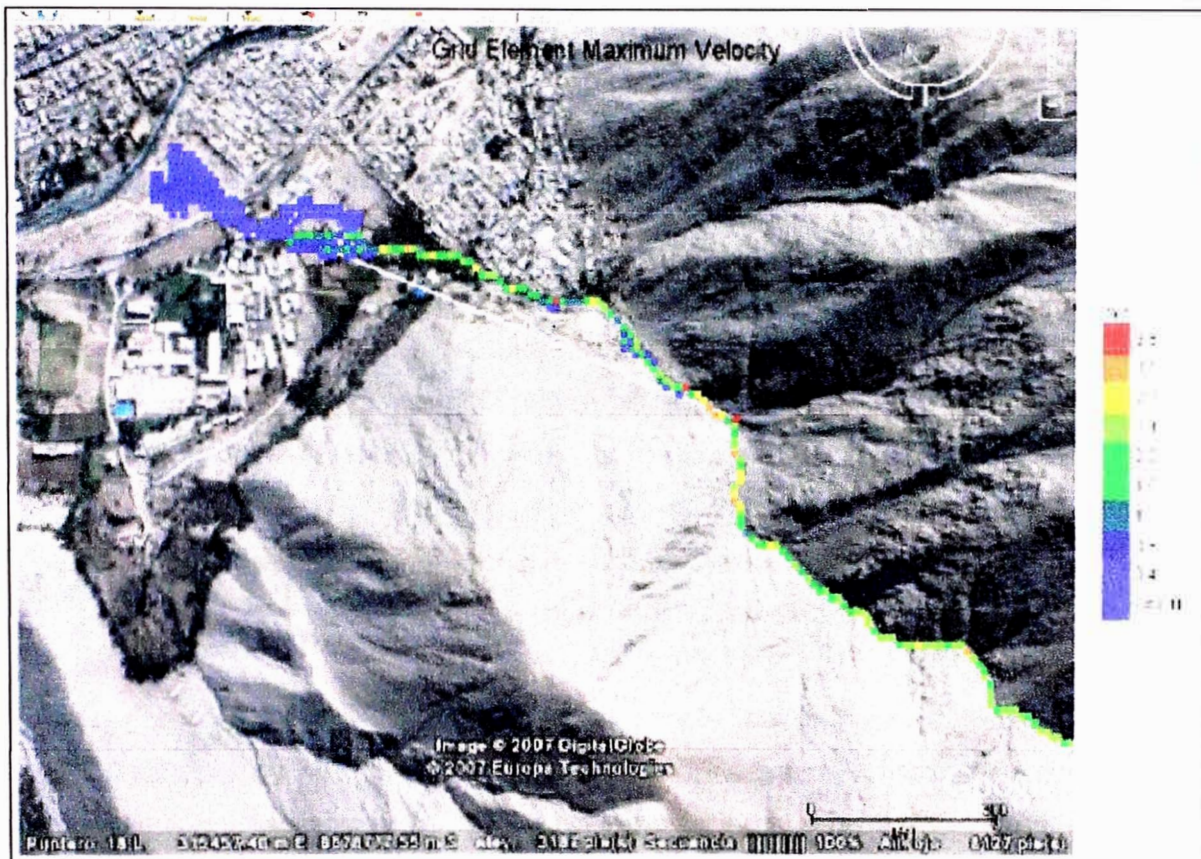


Figura 5.3: Velocidades máximas simuladas

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la elaboración del presente informe podemos deducir las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- La Quebrada de Santo Domingo, en el tiempo reciente, no había mostrado mayor actividad, comportándose como un torrente eventual, en las épocas de lluvia, hasta los años 1987, 1989 y especialmente 1998, donde desciende un huayco por el cauce, mostrando el potencial peligro que representa para la infraestructura y las poblaciones emplazadas en su entorno, especialmente las edificadas en su cono de deyección.
- El huayco es un fluido No-Newtoniano, por lo tanto no cumple con las leyes y fórmulas planteadas para el agua natural y limpia, pero por ser un fluido, posee la característica de tener la forma del recipiente que lo contiene, siempre y cuando ésta tenga la capacidad necesaria; en este caso los recipientes son las obras hidráulicas a construir, los cuales conducirán al flujo aluvional sin problema, si su volumen es menor a la capacidad de estas obras.
- Si bien el huayco, no cuenta con las características necesarias para aplicar la fórmula de Manning, la cual es válida para agua y fluidos permanentes y uniformes. Nos permiten relacionar la pendiente y rugosidad presentes en el área de estudio, bajo ciertas consideraciones, en el cálculo de la sección del encauzamiento.
- Una unidad de prevención contra los huaycos, es el diseño del encauzamiento, que se define considerando una velocidad no mayor de 8 m/s.
- El caudal de diseño es de $52.5 \text{ m}^3/\text{s}$, que fue hallado mediante el uso del software Flo – 2D, nos permite conocer además de los tirantes y velocidades, las posibles zonas que pudieran verse afectadas por la ocurrencia del huayco.
- Cuanto más crece una ciudad sin conocimiento del riesgo, está se hace más vulnerable a los desastres provocados por los fenómenos naturales.
- Si el huayco encuentra obstruido su paso, por más pequeño que éste sea, puede causar mucho más daño que un gran huayco que encuentra su cauce limpio y regulado, entonces la medida preventiva es efectuar la limpieza de

los cauces inmediatamente después del huayco o antes de la temporada de lluvias y es necesario realizar el mantenimiento periódico del mismo.

- Sería aconsejable colocar equipos meteorológicos, al menos en las épocas de lluvias, de Diciembre a Abril, en las cotas altas de la quebrada, como por ejemplo en las antenas de comunicaciones que actualmente existen en los linderos de la quebrada, que inclusive cuentan con acceso vehicular, para obtener datos pluviométricos e incluso pluviográficos, tener información real de nuestra microcuenca.

BIBLIOGRAFÍA

1. Arancibia Samaniego, Ada Liz, Tesis de Grado: Criterios para el manejo de Quebradas y su Aplicación en el Diseño de Obras Civiles, Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil, Lima, 1998.
2. Carhuayal R., Raúl F., Tesis de Grado: “Estudio del Método de Corrección de Drenaje para evitar los huaycos y su aplicación en la Quebrada Pedregal-Chosica”, Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil, Lima, 1992
3. Castillo Navarro, Leonardo, Tesis de Grado: Aplicación de un Modelo Numérico de Flujo de Escombros y Lodos en una Quebrada en el Perú, Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil, Lima, 2006.
4. Fernández Cheng, Daniel A., Tesis de Grado: El Tratamiento del Huayco de la Subcuenca Santa María – Yanacoto N° 5 Chosica”, Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil, Lima, 1992.
5. JICA, “Final Report for the Master Plan Study on the Disaster Prevention Project in the Rímac River Basin”, JICA, Lima, 1988.
6. León-Prado Aladzeme, César Augusto., Tesis de Grado: “Tratamiento en laderas y quebradas para el control de las Llocllas en el valle del Rímac”, Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil, Lima, 1989.
7. Martínez V., Alberto, “Aporte sobre Huaycos e Inundaciones en el Perú”, Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil – Sección de Post-Grado, Lima, 1999.
8. Oficina de Infraestructura - UNE, Proyecto: Construcción Defensa Ribereña de la Margen Izquierda del Río Rímac Sector La Cantuta, Universidad Nacional de Educación, “Enrique Guzmán y Valle”, 1999.
9. Oficina de Infraestructura - UNE, Proyecto: Defensa y Prevención de la Quebrada Santo Domingo. Universidad Nacional de Educación “Enrique Guzmán y Valle”, 1999.

10. Reyes Carrasco, Luís, Hidrología Básica, CONCYTEC, Lima, 1992.
11. Silva Ávila, Sergio Justino, Tesina: “Estudios de Control de Protección de flujos de lodos en las Microcuencas de Quirio y Pedregal - Chosica”, Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil, Lima, 2001.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. León-Prado Aladzeme, César Augusto., Tesis de Grado: "Tratamiento en laderas y quebradas para el control de las Llocllas en el valle del Rímac", Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil, Lima, 1989, Pág. 57,59.
2. León-Prado Aladzeme, César Augusto., Tesis de Grado: "Tratamiento en laderas y quebradas para el control de las Llocllas en el valle del Rímac", Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil, Lima, 1989, Pág. 62.
3. León-Prado Aladzeme, César Augusto., Tesis de Grado: "Tratamiento en laderas y quebradas para el control de las Llocllas en el valle del Rímac", Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil, Lima, 1989, Pág. 60, 61.
4. Carhuayal R., Raul F., Tesis de Grado: "Estudio del Método de Corrección de Drenaje para evitar los huaycos y su aplicación en la Quebrada Pedregal-Chosica", Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Civil, Lima, 1992, Pág. 136.
5. Arancibia Samaniego, Ada Liz., Tesis de Grado: "Criterios para el Manejo de Quebradas y su aplicación en el Diseño de Obras Civiles" (1998), Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil, Lima, 1998, Pág. 24.
6. Arancibia Samaniego, Ada Liz., Tesis de Grado: "Criterios para el Manejo de Quebradas y su aplicación en el Diseño de Obras Civiles" (1998), Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil, Lima, 1998, Pág. 50.
7. Reyes Carrasco, Luís, Hidrología Básica, CONCYTEC, Lima, 1992, Pág. 85.
8. Arancibia Samaniego, Ada Liz., Tesis de Grado: "Criterios para el Manejo de Quebradas y su aplicación en el Diseño de Obras Civiles" (1998), Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil, Lima, 1998, Pág. 56.
9. Arancibia Samaniego, Ada Liz., Tesis de Grado: "Criterios para el Manejo de Quebradas y su aplicación en el Diseño de Obras Civiles" (1998),

- Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil, Lima, 1998, Pág. 74.
10. Fernández Cheng, Daniel A., Tesis de Grado: "El Tratamiento del Huayco de la Subcuenca Santa María – Yanacoto N° 5 Chosica", Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil, Lima, 1992, Pág. 83.
 11. Fernández Cheng, Daniel A., Tesis de Grado: "El Tratamiento del Huayco de la Subcuenca Santa María – Yanacoto N° 5 Chosica", Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil, Lima, 1992, Pág. 109.
 12. Fernández Cheng, Daniel A., Tesis de Grado: "El Tratamiento del Huayco de la Subcuenca Santa María – Yanacoto N° 5 Chosica", Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil, Lima, 1992, Pág. 119.
 13. Silva Ávila, Sergio Justino, Tesina: "Estudios de Control de Protección de flujos de lodos en las Microcuencas de Quirio y Pedregal - Chosica", Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil, Lima, 2001, Pág. 38.
 14. Silva Ávila, Sergio Justino, Tesina: "Estudios de Control de Protección de flujos de lodos en las Microcuencas de Quirio y Pedregal - Chosica", Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil, Lima, 2001, Pág. 34.
 15. JICA, "Final Report for the Master Plan Study on the Disaster Prevention Project in the Rímac River Basin", JICA, Lima, 1988, Tomo I, Página II – 7 – 2 – 2.
 16. Martínez V., Alberto, "Aporte sobre Huaycos e Inundaciones en el Perú", Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil – Sección de Post-Grado, Lima, 1999, Pág. 74.

ANEXOS

ANEXO 1:

Modelamiento Numérico de Flujos de Escombros y Lodos Flo-2D Quebrada Santo domingo

ESTUDIO DE SIMULACION DEL FLUJO DE ESCOMBROS EN LA QUEBRADA SANTO DOMINGO, CON FINES DE PROTECCION DE LA U.N.E. ENRIQUE GUZMAN Y VALLE

1.1 OBJETIVO

El presente estudio es un indicador del posible daño del flujo ocasionado en la quebrada Santo Domingo mediante el modelamiento numérico. El principal objetivo es la determinación de las zonas vulnerables del cauce ante un evento extraordinario.

1.2 ANTECEDENTES

La quebrada objetivo tiene en su cono de deyección zonas urbanizadas que viven en las laderas del cauce principal de la quebrada. Tiempos anteriores, durante épocas de lluvia (tal como el Fenómeno del Niño) se activa la quebrada, discurriendo flujos de agua con sedimentos que se dirigen hacia la parte baja de la cuenca.

Los daños en la parte baja de la quebrada son significativos, debido a la latente de un evento mucho más extraordinario que el anterior.

Actualmente se ha elaborado medidas estructurales de mitigación del flujo, como diques de protección en la parte media de la cuenca.

1.3 CARACTERIZACION TOPOGRAFICA

La microcuenca Santo Domingo, está ubicada en el distrito de Lurigancho - Chosica, Provincia de Lima, Departamento de Lima, ubicada geográficamente en la región Costa en las coordenadas $76^{\circ}39'50''$ y $76^{\circ}42'10''$ de longitud Oeste del Meridiano de Greenwich; $11^{\circ}56'20''$ y $11^{\circ}57'20''$ de latitud Sur.

Esta microcuenca pertenece a la Cuenca hidrográfica del Pacífico y confluye al río Rímac por su margen izquierda, aguas arriba de la quebrada La Cantuta.

La extensión que posee esta microcuenca es de 4.13 km² con una longitud de cauce principal de 3.85 km aproximadamente. Los límites son:

Por el Oeste con el cerro Callcumachay, Quebrada La Cantuta y el Rio Rimac.

Por el Norte con la Quebrada La Ronda y la ciudad de Chosica

Por el Este con la Quebrada La Ronda,

Y por el Sur con la Quebrada La Cantuta.

Esta microcuenca tiene una altitud mínima de 850 m.s.n.m y una máxima de 1750 m.s.n.m. Su longitud de eje del cauce principal es de 3.85 km y presenta una pendiente promedio de 23%.

La microcuenca consta de tres partes que la distinguen: Una zona de recepción o recolección formada por las vertientes que se hallan por encima de los 1300 m.s.n.m., ésta área funciona como un embudo que capta las lluvias veraniegas.

Luego aguas abajo se tiene el canal de escurrimiento definido entre los 1300 m.s.n.m y los 950 m.s.n.m. Este tramo colecta todas las aguas provenientes de las vertientes. Las quebradas tributarias tienen una mediana pendiente, lo que provocan que posteriormente los materiales sean acarreados y conducidos por el canal principal, aumentando la capacidad de transporte de la quebrada. Por lo tanto en esta zona, el huayco toma su mayor fuerza y volumen.

Finalmente el canal de desagüe principal se abre en un plano de explayamiento conocido como, cono de deyección; en la cual se depositan las acumulaciones de materiales transportados del resto de la cuenca. Esta zona se encuentra completamente urbanizada.

1.4 CARACTERIZACION HIDROLOGICA

El clima de la zona del proyecto ubicado en la ciudad de Chosica se caracteriza por la escasa precipitación con una media anual de 18 mm para 9 años y una temperatura promedio de 20° C.1

El clima es tipo estepa con lluvia de verano y topoclimas de desierto subtropical (según clasificación de KOPPEN) que generan mayor humedad en la parte alta.

Este clima corresponde a la faja costanera del Perú, denominado desértico templado y húmedo, caracterizado por escasas lluvias todo el año, excepto entre enero a marzo que puede llover, generando fenómenos de geodinámica externa en las quebradas, como son los huaycos e inundaciones y erosión de suelos por desborde del río Rímac.

El viento tiene una dirección de sur oeste a noreste, siendo mayor su persistencia por las tardes.

Chosica, titulada la "Villa del Sol" por su hermoso clima, ofrece dos estaciones bien marcadas: verano e invierno. De abril a octubre con sol dominante y una temperatura promedio de 22° y de noviembre a marzo con ligero frío, llovizna y niebla, pero siempre con sol radiante durante el día.

Se afirma que "el clima es uno de los factores ecológicos que mayor influencia ejerce sobre el suelo, la flora y la fauna" de allí que el Valle se presenta siempre verde y colorido gracias al clima y las aguas del Rímac que los alimentan permanentemente

Sin embargo, es de recordar que en algunas de las temporadas de invierno, se han precipitado abundantes lluvias, ocasionando huaycos que han causado graves daños materiales como los de 1 925, 1 936 y 1 987.

La aridez del área es debido al viento húmedo de este a oeste del Océano Atlántico que es interceptado por los Andes Centrales. Sin embargo, los patrones de precipitación son activados por acontecimientos climáticos como el Fenómeno del Niño (FEN) en el Océano Pacífico. Durante estos acontecimientos el aire húmedo del Océano Pacífico al oeste, puede mover hacia el este (llegando a los Andes Occidentales) fuertes lluvias que comúnmente provocan la actividad de derrumbamiento incluyendo flujos de escombros (Kuroiwa, 2002).

1.4.1 Parámetros Geomorfológicos.

En la tabla 1.4.1 se observan los parámetros geomorfológicos estimados para la quebrada Santo Domingo.

Tabla 1.4.1: Cuadro resumen de las características morfológicas

CARACTERISTICA	FORMULA	RESULTADO Y COMENTARIO
Area (A)		4.13 km ² (cuenca pequeña)
Longitud del cauce (L)		3.85 km. (longitud del cauce principal)
Perímetro (P)		10.26 Km.
Parámetros de Forma de la Cuenca		
Factor Forma de Horton	$R_f = \frac{A}{L^2}$	Rf = 0.28
Índice de Gravellius	$I_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	Ic = 1.41 (cuanto más cercano es a 1.0, presenta una forma circular)
Razón de Circularidad	$R_{ci} = \frac{4\pi A}{P^2}$	Rc = 0.49
Parámetros relativos al relieve		
Altitud máxima	m.s.n.m.	1750
Altitud mínima	m.s.n.m.	850
Pendiente Promedio		23%

1.4.2 Precipitación máxima de 24 horas (P₂₄)

Del estudio de la Cuenca del río San Mateo, realizado por la consultora CESEL Ingenieros S.A., para el estudio hidrológico de la quebrada Collana, se ha extraído la información de precipitación de las estaciones más cercanas a la zona de estudio.

Para la quebrada objetivo, se tiene como principal estación de influencia la de Santa Eulalia, ubicado dentro de la cuenca del río Rímac. Las características de la estación se muestran la Tabla 1.4.2.



Figura 1.4.2. Imagen Satelital de la quebrada Santo Domingo

1.4.3 Precipitación máxima de 24 horas (P_{24})

Del estudio de la Cuenca del río San Mateo, realizado por la consultora CESEL Ingenieros S.A., para el estudio hidrológico de la quebrada Collana, se ha extraído la información de precipitación de las estaciones más cercanas a la zona de estudio.

Para la quebrada objetivo, se tiene como principal estación de influencia la de Santa Eulalia, ubicado dentro de la cuenca del río Rímac. Las características de la estación se muestran la Tabla 1.4.2.

Tabla 1.4.2. Ubicación de la estación meteorológica

Estación	Cuenca	Altitud m.s.n.m.	Latitud	Longitud
Sta. Eulalia	Rímac	1030	11°54'	76°40'

Del mismo estudio, se tiene las Precipitaciones máximas en 24 horas para los periodos de retorno de 20, 50 y 100 años.

El análisis de la información pluviométrica del estudio de CESEL S.A, se basó en un análisis de frecuencias de eventos hidrológicos máximos, aplicables a caudales de avenida y precipitaciones máximas. La información pluviométrica fue procesada por medio de un análisis probabilístico. Se efectuó las distribuciones de frecuencia más usuales: Distribución Normal (N), Distribución Gumbel (EV1), Distribución Log Normal de 2 parámetros (LN), Distribución Log Normal de 3 parámetros (3LN) y Distribución Log Pearson III (LP3). CESEL S.A, encontró como mejor distribución de ajuste la de Log Pearson III (LP3), generalizándose ésta para todas las estaciones. Finalmente, se obtuvieron los resultados de precipitación máxima en 24 horas (Tabla 3.3) para diferentes periodos de retorno.

Tabla 1.4.3. Precipitación máxima en 24 horas (mm)

Estaciones	P_{20}	P_{50}	P_{100}
Sta. Eulalia	29.40	34.00	38.30

De la tabla anterior, se puede apreciar que para un tiempo de retorno de 100 años se registra una precipitación máxima de 38.3 mm.

1.4.3 Cálculo del Tiempo de retardo (t_{lag}).

Para el cálculo del tiempo de retardo, tomaremos la definición de Horner y Flint.

El tiempo de retardo fue originalmente definido por Horner y Flynt (1934) como "...la diferencia de tiempo entre el centro de masa de la precipitación y el centro de masa de la escorrentía...". La siguiente relación general entre el tiempo de retardo (lag time, L_g) y parámetros de cuencas medidos es:

$$L_g = 26K_n \left(\frac{LL_{ca}}{S^{0.5}} \right)^{0.33}$$

Donde:

- L_g = tiempo de retardo del hidrograma unitario, en horas
- L = longitud del cauce principal, en millas.
- L_{ca} = longitud de desembocadura al centro de gravedad de la cuenca, en millas
- S = pendiente promedio del curso de agua, en pies por milla
- K_n = valor promedio de rugosidad, característico de la cuenca.

Esta fórmula tiene la virtud de que proviene de estudios, donde se han contrastado registros simultáneos de precipitaciones y escorrentías medidas. El valor de K_n se aproxima a 0.073.

Tabla 1.4.4. Cálculo del Tiempo de retardo para la quebrada Santo Domingo

CARACTERÍSTICA	FORMULA	RESULTADO
Longitud del cauce principal	L	3.85 Km (2.39 mi)
Longitud de la desembocadura al C.G	L_{ca}	2.21 Km (1.37 mi)
pendiente promedio del curso de agua	S	23% (1214.4 pies/mi)
Factor	K_n	0.073
Tiempo de retardo	$L_g = 26K_n \left(\frac{LL_{ca}}{S^{0.5}} \right)^{0.33}$	0.9 horas

1.4.4 Descripción del Uso de Tierras y Cálculo del Número de Curva (CN).

Un parámetro necesario para el cálculo del Hidrograma de avenida por medio de la metodología del Soil Conservation Service (SCS) es determinar el valor del Número de Curva (CN). Este valor de CN es adimensional, tal que $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables y superficies de agua $CN=100$; para superficies naturales $CN < 100$. El Soil Conservation Service (SCS) ha tabulado valores de número de curva en base al tipo de suelo y uso de tierras. Todos los suelos son clasificados en 4 grupos de suelos hidrológicos de distintas propiedades.

Según la imagen satelital y las fotografías tomadas en campo se aprecia un suelo de moderada tasa de infiltración. Con suelos poco profundos, moderadamente drenadas, con texturas moderadamente finas a gruesas. Este tipo de suelo tiene una moderada tasa de transmisión de agua. Por la tanto, para la quebrada en estudio se le denomina un tipo de suelo hidrológico "B", con un valor de CN cercano a 82.

Hacemos referencia que los valores de CN para las quebradas ubicadas en la cuenca del río Rímac varían en un rango de 78 a 83, según estudios hidrológicos revisados.

1.4.5 Hidrograma de avenida líquido (Inflow).

Para la estimación del hidrograma de avenida, utilizaremos como apoyo el modelo hidrológico HEC-HMS. La razón por la cual hemos elegido este software es debido a que se trata de un programa de uso libre y reconocido en otras partes del mundo. Además el ingreso de datos es sencillo y muy fácil de interpretar.

Para el cálculo del hidrograma de avenida se empleará la metodología del Soil Conservation Service (SCS) debido a que es uno de los métodos más sencillos para el cálculo de un Hidrograma de avenida. Además se utilizará tormentas hipotéticas para 24 horas provenientes de investigaciones en los Estados Unidos.

Para el inicio del modelamiento con el software mencionado se requiere la especificación de 3 conjuntos de datos:

- Modelo de Cuenca
- Modelo Meteorológico
- Especificaciones de Control

a. Modelo de Cuenca

Contiene los parámetros de los elementos hidrológicos como por ejemplo: sub-cuencas, tramo de cauce, convergencias, reservorios, fuentes y sumideros.

El primer paso es dibujar el esquema hidrográfico a simular. Los elementos utilizados para definir nuestra microcuenca son: sub-cuenca (subbasin), cauce (reach) y la confluencia (junction). Véase Figura 1.4.3.

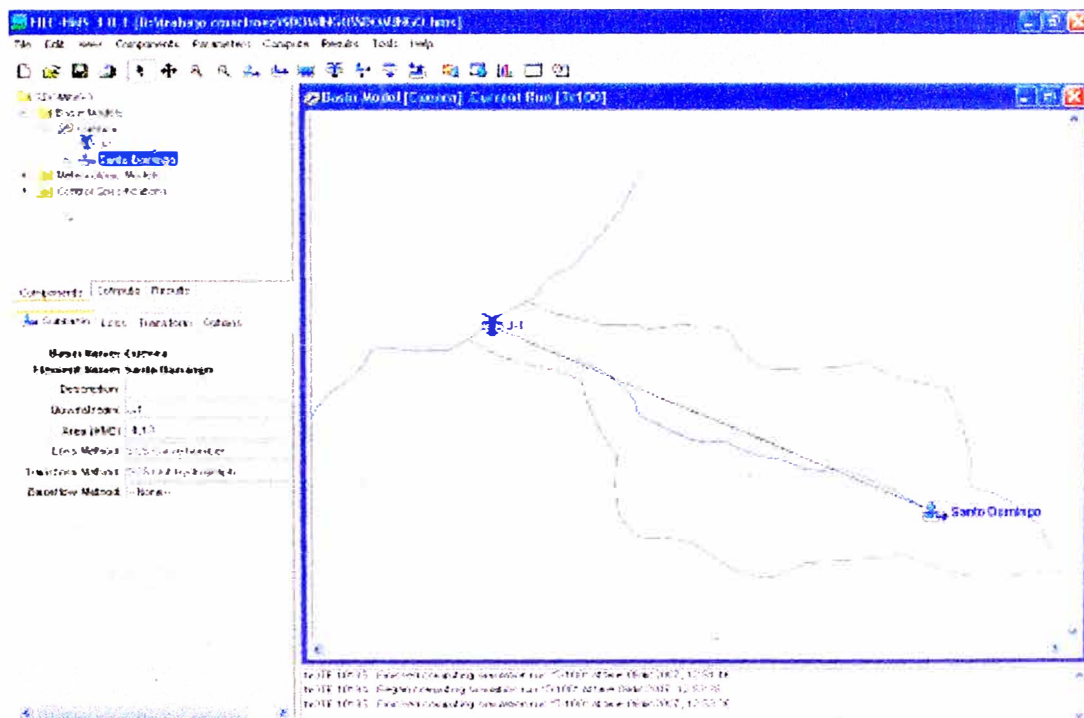


Figura 1.4.3. Modelo de Cuenca

Como datos adicionales debemos completar las características de la subcuenca y la metodología de análisis para el cálculo del hidrograma.

Se utilizará el método SCS para abstracciones, para estimar la pérdida inicial, debido a que depende solo de una variable conocida CN. La pérdida inicial (mm) es igual a $0.20 \times (25400 - 254CN) / CN$. El valor de pérdida inicial en el HEC-HMS se calcula por defecto para el método de SCS.

Adicionalmente emplearemos el hidrograma unitario adimensional de SCS, para el cálculo del hidrograma sintético cuyo dato de entrada depende del tiempo de retardo (t_{lag}). Para nuestro caso, el análisis está en función de una precipitación efectiva y no se considerará flujo base.

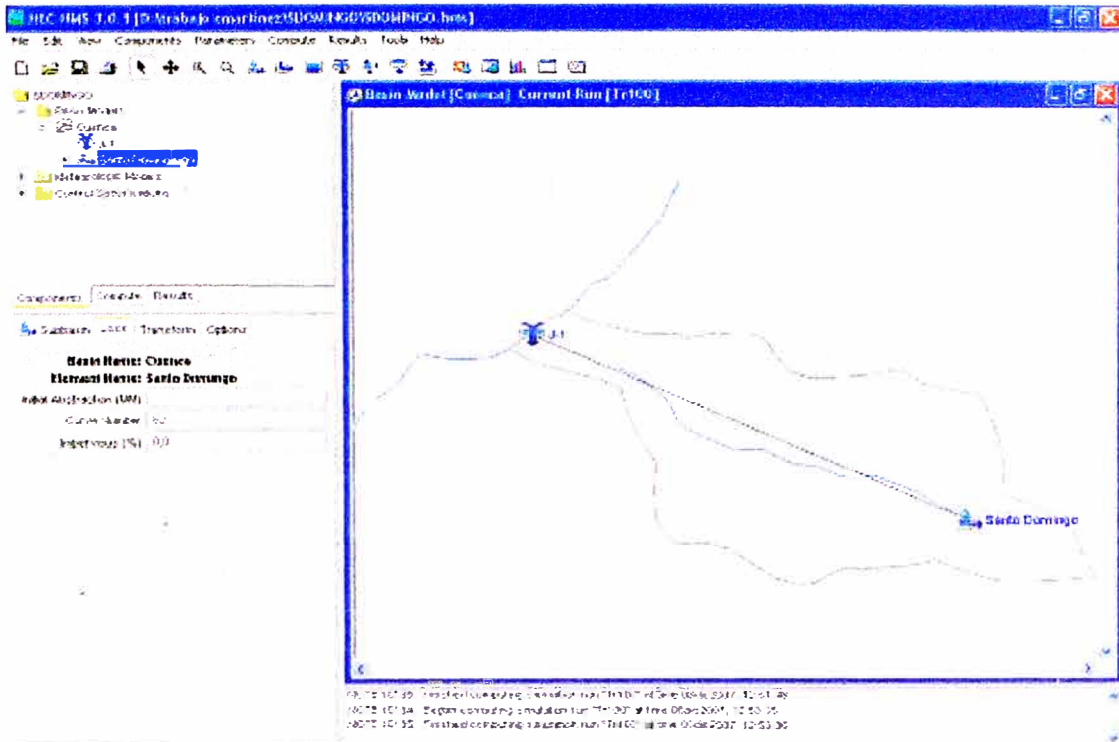


Figura 1.4.4. Método SCS de abstracciones

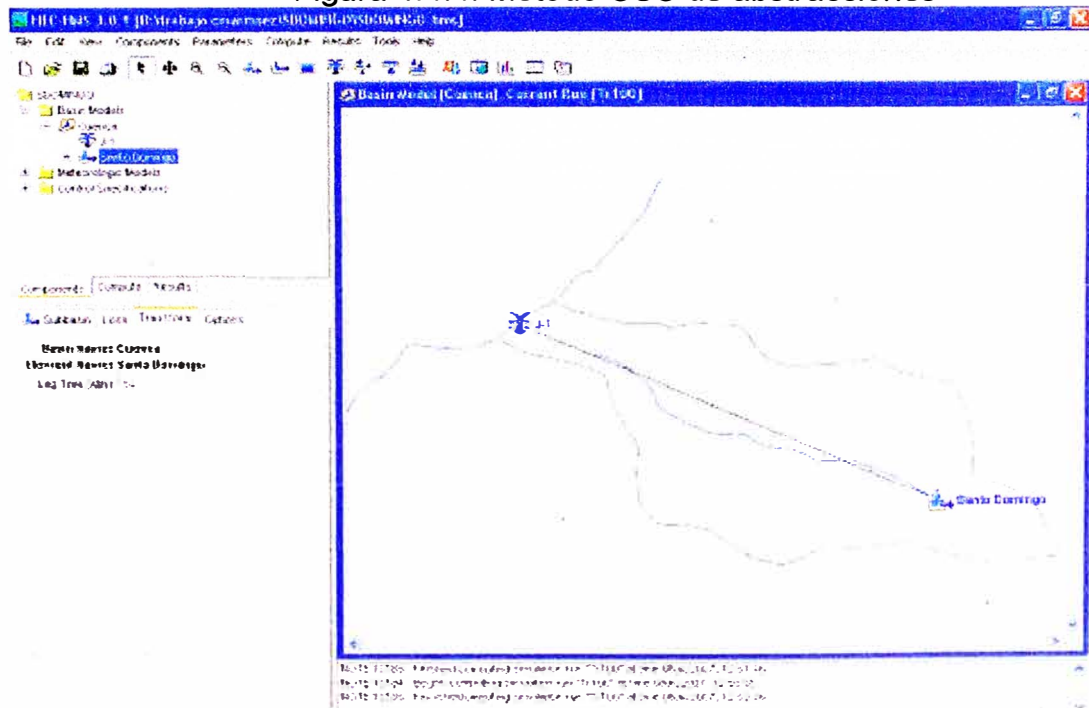


Figura 1.4.5. Método SCS – Tiempo de retardo

b. Modelo Meteorológico

El modelo meteorológico consiste en definir la tormenta de diseño utilizada en la simulación del proceso precipitación-escorrentía, para nuestra microcuenca.

Una metodología para crear una tormenta de diseño, es por medio de hietogramas sintéticos de tormentas diseñados por el Soil conservation Service del U.S Departament of Agriculture (1986) utilizado en los Estados Unidos con duraciones de tormenta de 24 horas. Existen cuatro tormentas de 24 horas de duración: Tipo I, IA, II y III.

Algunas instituciones e hidrólogos en nuestro medio, realizan cálculos de tormentas de diseño por medio de esta metodología, utilizando la tormenta hipotética del Tipo II debido a la semejanza del medio geográfico.

Finalmente el dato requerido es solamente la precipitación máxima de 24 horas. Esta precipitación para nuestro caso, es la precipitación para una **celda concentrada** igual a 38.3 mm (ver Figura 1.4.6).

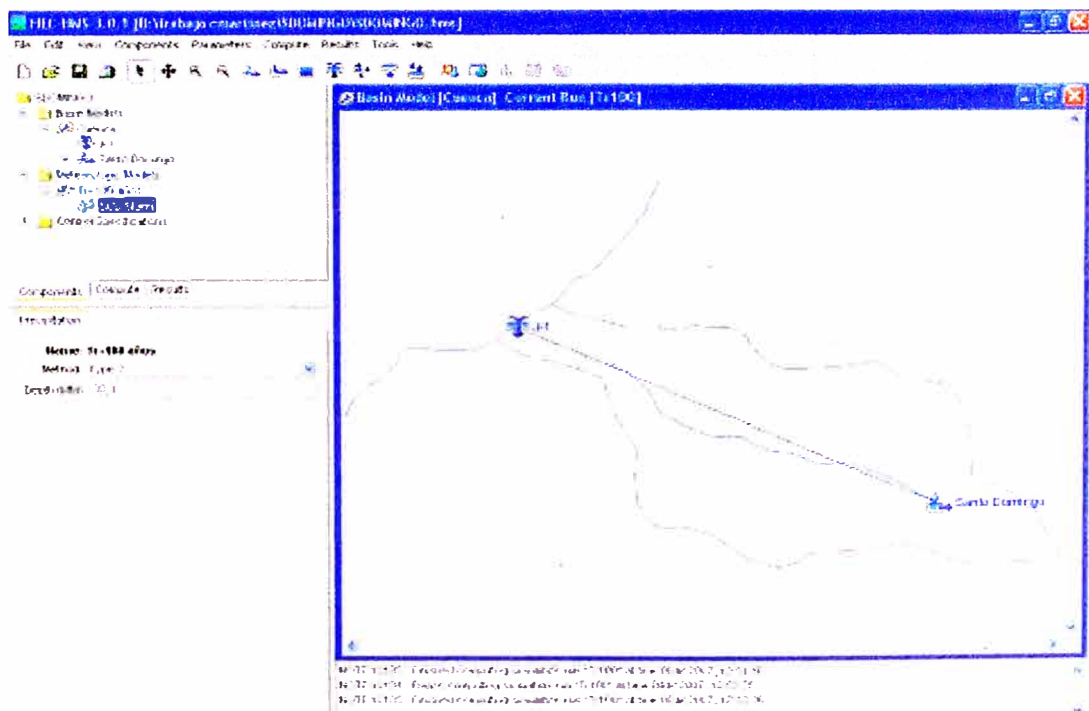


Figura 1.4.6. Histograma sintético de tormenta – Tipo II (SCS)

c. Especificaciones de Control

En esta parte del modelo se ingresa el tiempo de simulación para el hidrograma y el intervalo de tiempo (dt) o nivel de discretización. Por regla general, el nivel de discretización (dt) debe ser menor a 1/3 del tiempo de retardo. Para nuestro caso con un tiempo de retardo de 0.9 horas, se obtiene un intervalo de tiempo de 0.3 horas.

Con este conjunto de datos, el modelo hidrológico HEC-HMS procede a calcular el hidrograma de avenida (ver Figura 1.4.7). Este hidrograma presenta un caudal pico de 3.64 m³/s correspondiente a una precipitación máxima en 24 horas de 38.3 mm. La distribución del hidrograma en función del tiempo se presenta a continuación:

Tabla 1.4.5. Valores del hidrograma líquido (CN=82)

Tiempo (hr)	Caudal (m ³ /s)
0.00	0.000
0.34	0.188
0.68	1.525
0.85	2.549
1.02	3.283
1.25	3.634
1.27	3.635
1.29	3.633
1.35	3.607
1.56	3.289
1.73	2.823
2.24	1.844
3.26	0.983
3.94	0.769
4.45	0.67
4.96	0.589
5.98	0.493
7.98	0.387
8.98	0.336
9.98	0.302
10.98	0.29
11.98	0.28
12.98	0.248
16.26	0.000

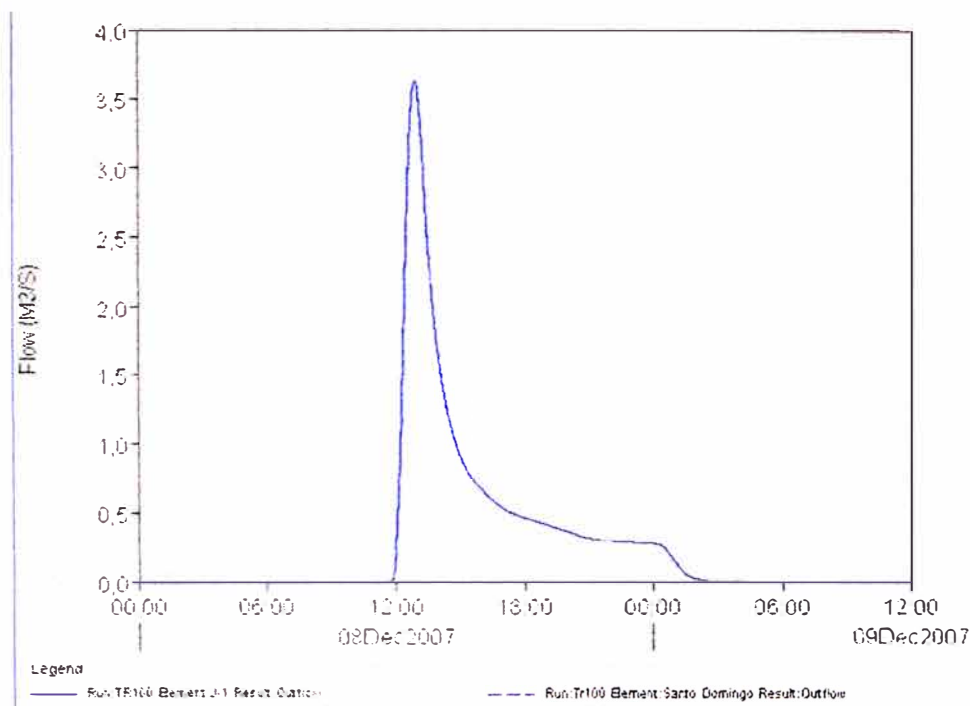


Figura 1.4.7 Hidrograma líquido para la quebrada Santo Domingo

1.5 CARACTERIZACION GEODINAMICA-GEOTECNICA

1.5.1 Aspectos Geológicos Generales.

Según el mapa geológico del cuadrángulo de Chosica, elaborado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), la quebrada Santo Domingo se asienta sobre una roca intrusiva (tonalita diorita) en la mayor parte de la cuenca. En la parte del cono de deyección el material es aluvial, proveniente de las planicies de inundación del río Rímac. (Ver Figura 1.5.1)

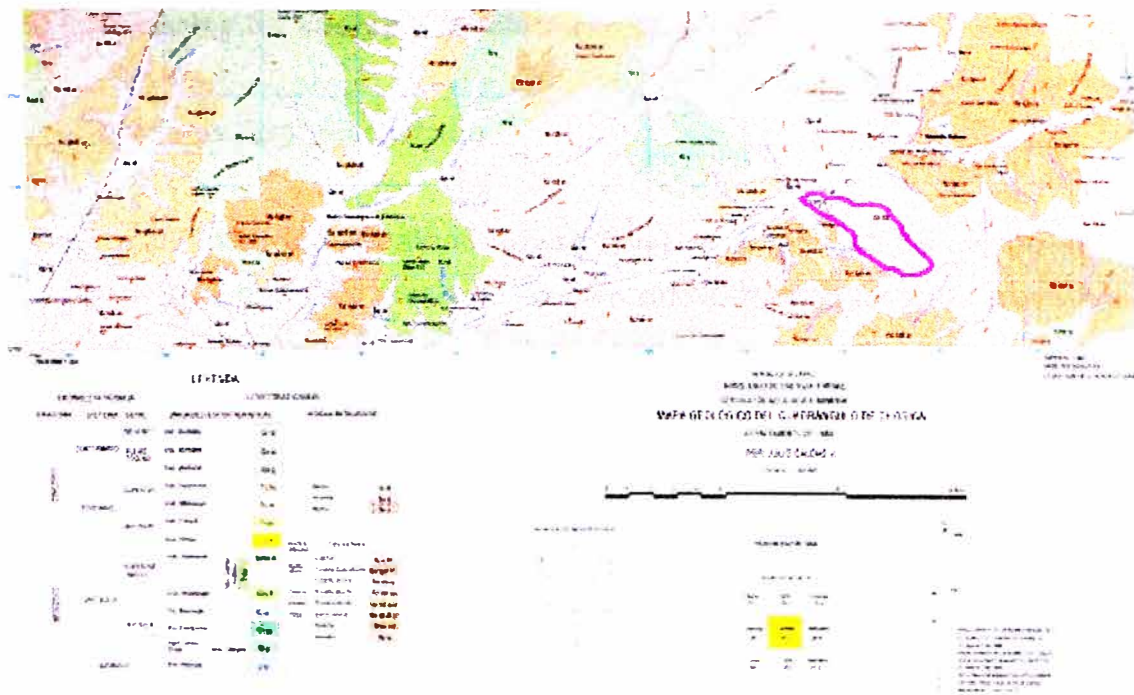


Figura 1.5.1 Mapa Geológico del Cuadrángulo de Chosica

1.5.2 Geodinámica de la quebrada

La parte baja de la quebrada presenta materiales en el lecho de tipo gravo-arenoso con una reducida proporción de limos, el cual se encuentra suelto. Los taludes de ambas márgenes están conformados por material proluvial de anteriores flujos que discurrieron por la quebrada; los materiales de estos depósitos antiguos tienen una matriz arcillo-limoso con gravas, bloques y bolones que van desde 0.5 a 2 m de diámetro.

En la parte media de la cuenca ambas márgenes son afectadas por la erosión en surcos que van socavando y causan derrumbes en la parte superior de las terrazas. Existe erosión por socavación lateral en la base de los taludes que los desestabiliza.

En la parte baja de la cuenca se observa un estrechamiento del cauce que se produce por la acumulación de bloques y material proluvial que forman conos pequeños; se observa material proluvial colgado a unos 5 m sobre el afloramiento rocoso, los taludes son casi verticales (cauce encajonado).

1.5.3. Mecánica de suelos y mediciones de campo.

a. Análisis Granulométrico

De los resultados de laboratorio de las muestras extraídas de campo se puede mencionar, que el cauce presenta un gran porcentaje de material gravo-arenoso con presencia de material fino, tal como la arcilla.

Del análisis de los límites de Atterberg, se observan que debido al poco material fino extraído, no presentan límites plásticos. Sin embargo, la presencia in-situ de la arcilla en los cortes naturales del cauce, nos hablan de la presencia latente del material fino para formar el material viscoso granular, en épocas de lluvia o activación de la quebrada.

Estos resultados indican muestras de baja plasticidad a arenas no plásticas, variando de SC (arena arcillosa) a SM (arena limosa) en el esquema de Clasificación de Suelo Unificado (SUCS).

Tabla 1.5.1. Resultados de la granulometría – ASTM D422

Muestra	Diámetro (d)		SUCS
	3”<d<No 200 %	d<No 200 %	
C-1	96.8	3.2	SC
C-2	97.5	2.5	SC

b. Estratigrafía del cauce de la quebrada

Dentro del cauce de la quebrada, se puede apreciar el material grueso o bolonería inmersa dentro de material fino. Estos cortes naturales, nos dan alguna idea del evento del flujo anterior y de su material transportado.

De fotografías tomadas en campo, se puede apreciar ciertas huellas que nos indican un parámetro de calibración para el modelo, tal como el espesor del flujo en ciertas secciones del cauce.



Foto 1.5.1. Corte natural en el cauce de la quebrada

c. Volumen de escombros depositado

Como primera aproximación del cálculo del volumen de escombros, la Agencia de Cooperación Internacional Japonés (JICA) elaboró en 1988 un Plan Maestro sobre la Prevención de Desastres en la Cuenca del río Rímac. Como parte de este trabajo, JICA estimó volúmenes de depósito probables generados por el Fenómeno del Niño en Marzo de 1987.

Ellos usaron el valor de producción de sedimento de $14,800 \text{ m}^3/\text{km}^2$ como típico para acontecimientos de flujo de escombros grandes causados por eventos de precipitación de baja probabilidad dentro de la quebrada de Pedregal (Chosica) el cual es en gran parte desprovisto de vegetación. Ellos extrapolaron esta tasa de sedimentos a otras quebradas dentro de la cuenca del río Rímac, usando un coeficiente de corrección basado sobre el grado de cubierta de vegetación dentro de una quebrada dada. Para la quebrada Santo Domingo, corresponde un coeficiente de corrección de 0.6 (representa cobertura vegetal mayor que 30% y menor que 60%).

La ecuación utilizada por JICA fue:

$$V = 14,800 \times 1.2 \times F \times A$$

Donde: F= 0.6 (coeficiente de corrección para la quebrada Santo Domingo)

A= 4.13 Km² (Área de la quebrada Santo Domingo)

Por lo tanto el volumen estimado por JICA para la quebrada es de 44,009.28 m³.

1.6 SIMULACION DEL FLUJO EN LA QUEBRADA

Para un modelamiento de flujos de escombros, es necesario obtener la topografía, el hidrograma líquido+sólido, las propiedades del sedimento, y los parámetros reológicos. Los parámetros característicos del sedimento se fijaron de acuerdo a la experiencia en otros países, donde se han calibrado con cuencas experimentales.

Las siguientes características (parámetros de entrada) son empleadas para la simulación:

- Se aplicó un modelo numérico bidimensional para la simulación del flujo hiperconcentrado de barro y escombros, utilizando las ecuaciones que gobiernan el movimiento en su expresión más completa (onda dinámica).
- El modelo considera el fluido homogéneo (una sola fase) de concentración variable; esto significa que internamente no se hace distinción de los tamaños de sedimento.
- Para un evento de flujo de escombros, se estima como primera aproximación una distribución de C_v en el tiempo partiendo de un valor cercano a 0.22 y aumentando gradualmente hasta 0.35 ó 0.45 dependiendo del tipo de sedimento de la cuenca. El pico de C_v debe ubicarse unos minutos antes del pico del hidrograma líquido.

- El hidrograma de caudal líquido con la respectiva concentración volumétrica de sedimento, es la condición de borde aguas arriba.
- Se estableció la rugosidad “n” de Manning de 0.04 en el cauce de la quebrada, y un coeficiente de Manning de 0.012 en la zona urbanizada.
- Los parámetros reológicos del fluido se fijaron en función de la similitud encontrada entre las muestras recolectadas de campo y las muestras tipo de la literatura.

Las muestras tipo, provenientes de la literatura, fueron recolectadas de depósitos naturales de flujos de lodo en Colorado Rocky Mountain cerca de las ciudades de Aspen y Glenwood Springs, USA. Las ecuaciones utilizadas para el modelo son (O’Brien & Julien, 1988):

$$\eta = 0.0360e^{22.1C_v}$$

$$\tau_y = 0.181e^{25.7C_v}$$

- La gravedad específica del sedimento es igual 2.65.
- El tiempo de simulación es de 20 horas.

En resumen, se estudia una creciente con un caudal líquido máximo de 3.64 m³/s con una concentración volumétrica de sedimentos (C_v) de 22 % a 25% en la rama ascendente del hidrograma y de valor máximo de 35 % en el intervalo anterior al pico líquido, luego disminuye hasta un 22 %, permaneciendo constante hasta el final del hidrograma, como se puede observar en la Figura 1.6.1.

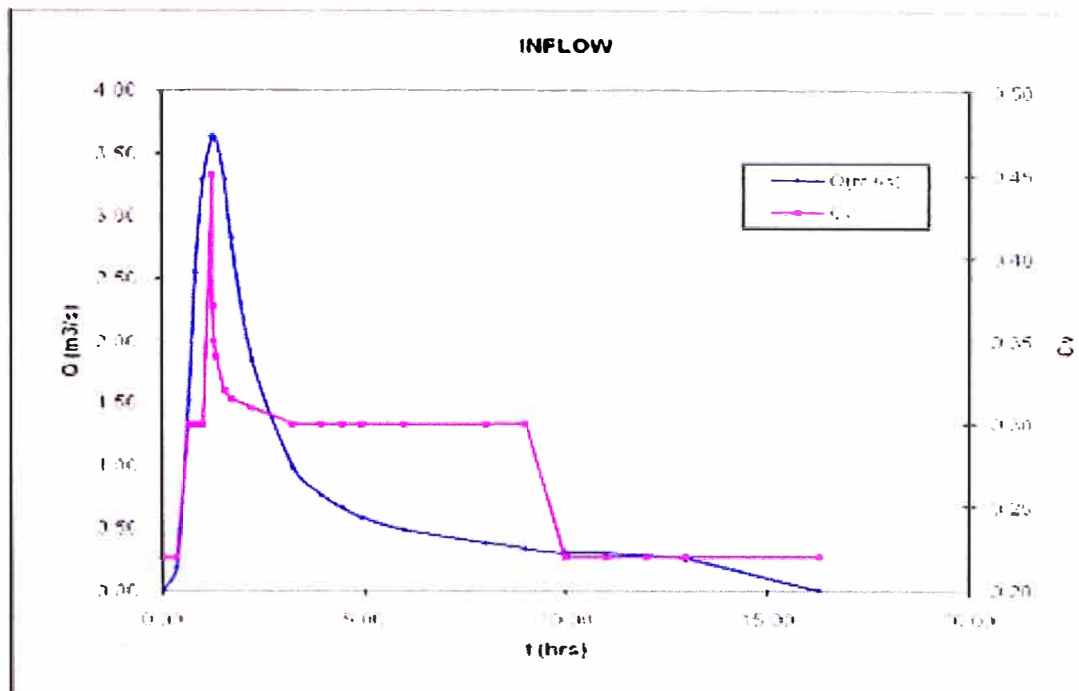


Figura 1.6.1. Hidrograma líquido y sólido. $Q_{lp}=3.64 \text{ m}^3/\text{seg}$. $C_v=0.22-0.35$

1.7 ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados de la modelación nos reporta un volumen total de creciente simulada de 56,077.97 de m^3 , de los cuales 39,050.82 de m^3 son agua y 17,027.15 de m^3 corresponden a sedimento.

La profundidad máxima varía entre 0.5 m 3.3 m con velocidades máximas de hasta 3.5 m/s en el cauce de la quebrada (Figuras 1.7.1 y 1.7.2). El modelo predice un área de inundación de 32,600 m^2 dentro del área simulada.

Los volúmenes reportados por el modelo FLO-2D son:

Tabla 1.7.1. Salida del programa FLO-2D

Flujo (m^3)	Agua (m^3)	Agua con sedimento (m^3)
Hidrograma de entrada (INFLOW)	39,050.82	56,077.97
Almacenamiento dentro del área de análisis	3,065.53	4,273.19
Flujo fuera del área de simulación (OUTFLOW)	35,999.94	51,804.77

El volumen de entrada (INFLOW) en el modelo se subdivide en un volumen almacenado dentro de malla analizada (STORAGE) y un volumen de salida (OUTFLOW).

En los gráficos siguientes se muestra los resultados a lo largo del cauce de tirantes y velocidades máximas.

Además se muestra el plano de amenaza, donde para el caso de estudios de huaycos, los colores naranja y rojo representan peligro y análisis de vulnerabilidad necesaria.

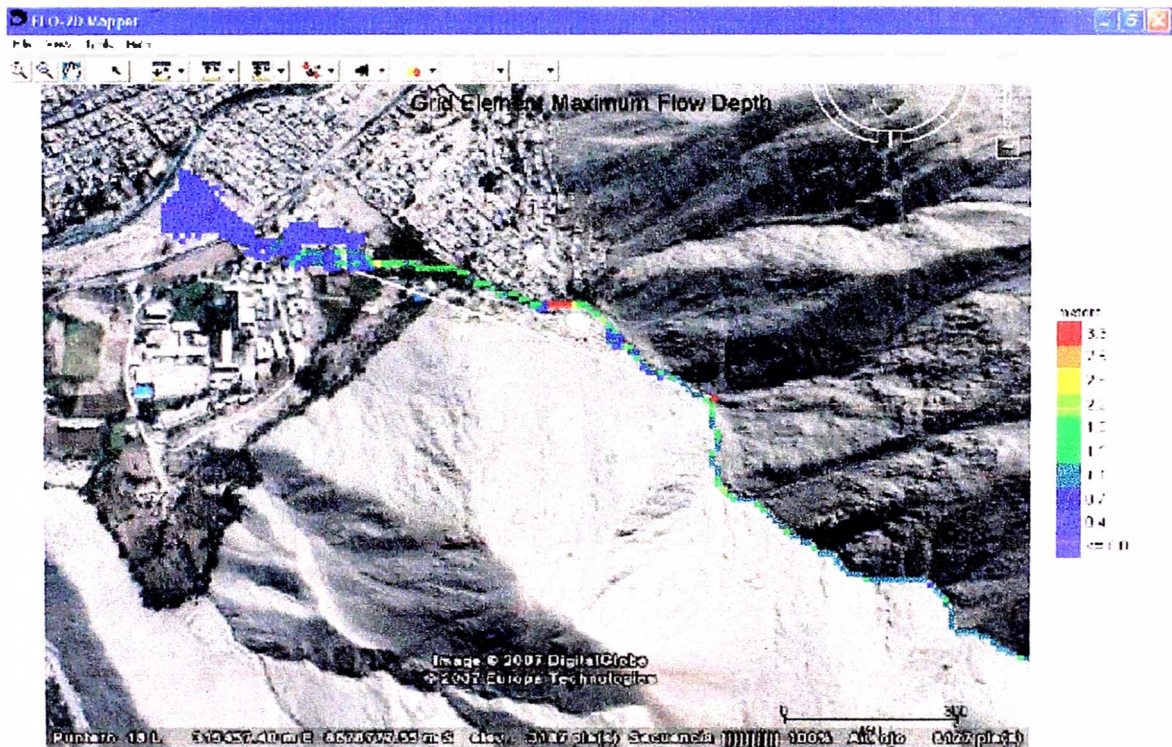


Figura 1.7.1. Tirantes máximos simulados

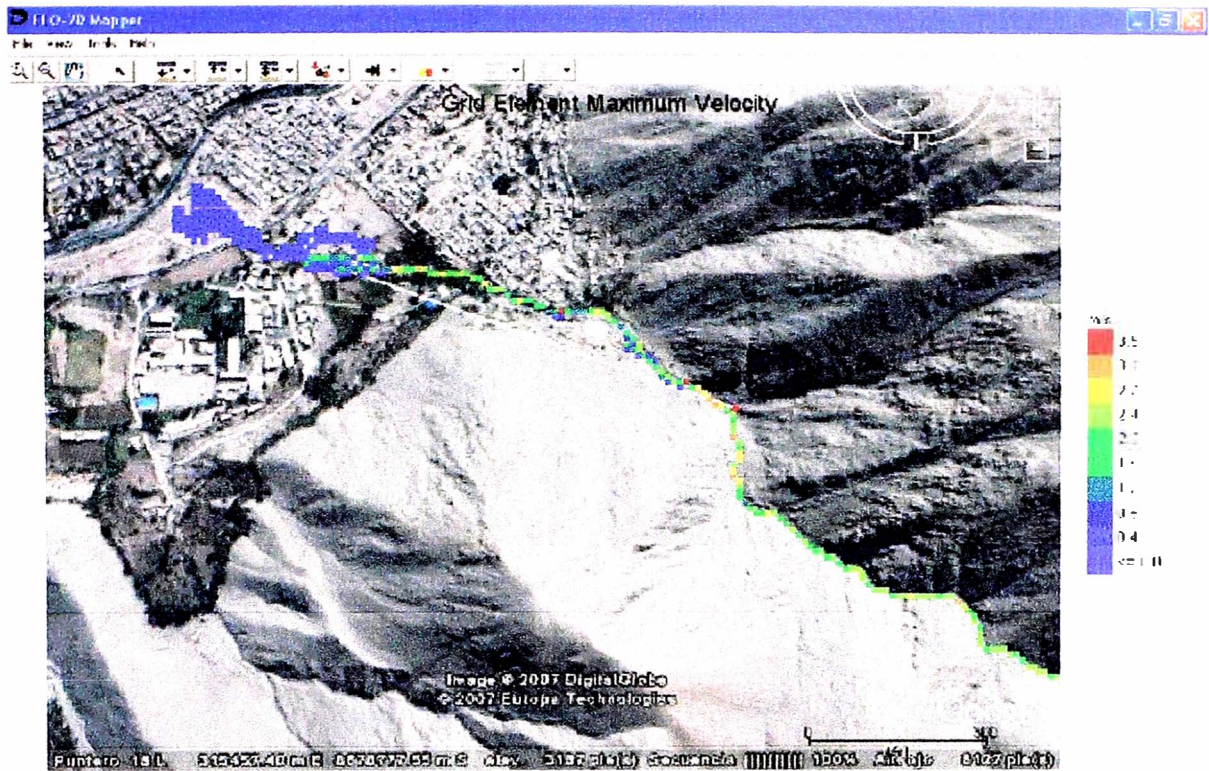


Figura 1.7.2. Velocidades máximas simuladas

ANEXO 2:

Resultados de Laboratorio / Mecánica de suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

INFORME N° S07 - 666

SOLICITANTE : Bach.Ing. Civil Julio Cesar ANAMPA BENITES
 PROYECTO : Encausamiento para la proteccionde la UNE.
 Enrique Guzman y Valle - quebrada Santo Domkm
 UBICACIÓN : Chosica - Lima
 FECHA : 29, Noviembre del 2007

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

CALICATA : C-1
 PROF.(m.) : 1.00
 MUESTRA : M-1

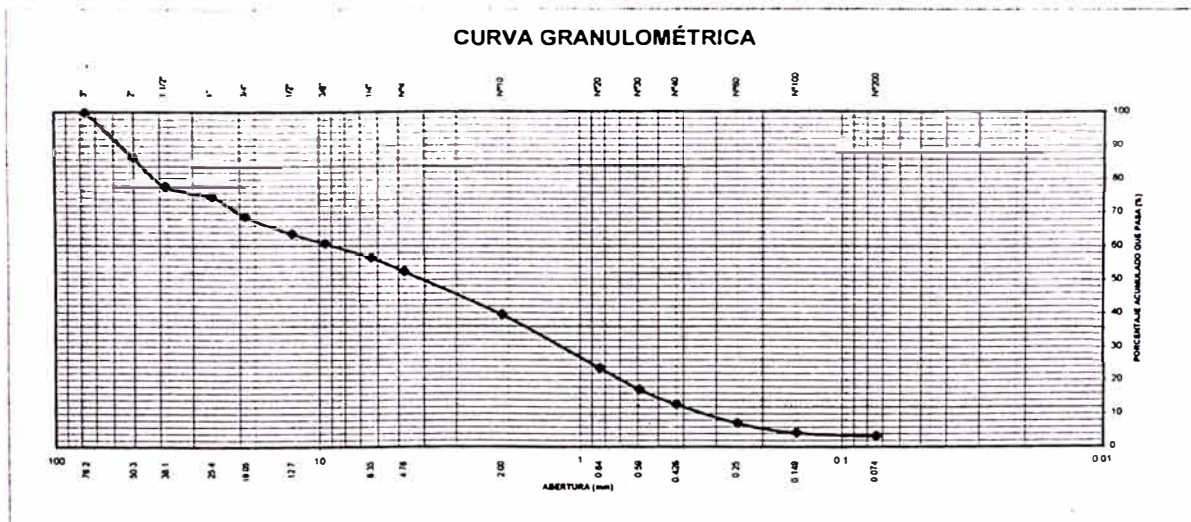
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Tamiz	Abertura (mm)	Parcial (%)	Reten (%)	
			Reten	Pasa
3"	76.200	-	-	100.0
2"	50.300	13.3	13.3	86.7
1 1/2"	38.100	9.1	22.4	77.6
1"	25.400	2.9	25.3	74.7
3/4"	19.050	5.8	31.2	68.8
1/2"	12.700	5.0	36.2	63.8
3/8"	9.525	3.0	39.2	60.8
1/4"	6.350	4.3	43.5	56.5
N°4	4.760	4.1	47.6	52.4
N°10	2.000	12.8	60.5	39.5
N°20	0.840	15.9	76.3	23.7
N°30	0.590	6.4	82.7	17.3
N°40	0.426	4.5	87.3	12.7
N°60	0.250	5.5	92.8	7.2
N°100	0.149	2.9	95.7	4.3
N°200	0.074	1.1	96.8	3.2
- N°200		3.2		

% grava	: 47.6
% arena	: 49.1
% finos	: 3.2

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
LÍMITE LÍQUIDO (%)	: NP
LÍMITE PLÁSTICO (%)	: NP
ÍNDICE PLÁSTICO (%)	: NP

Clasificación SUCS ASTM D2487 :



Nota. Muestra remitida e identificada por el Solicitante

Ejecución : Tec. Jorge Chávez U.

Revisión : Ing. Luis Gonzales H.

Luis Gonzales H.
 LUIS GONZALES HIJAR

ING. RESPONSABLE DE AREA
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI



Wilfredo Gutierrez Lazares

ING. WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
 ING. JEFE DEL LABORATORIO
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

INFORME N° SO7 - 655

SOLICITANTE : BACH. ING. CIVIL JULIO CESAR ANAMPA BENITES
 PROYECTO : ENCAUZAMIENTO PARA LA PROTECCION DELA UNE
 ENRIQUE GUZMAN Y VALLE QUEBRADA SANTO DOMINGO
 UBICACIÓN : U. NACIONAL DE EDUCACION ENRIQUE GUZMAN Y VALLE CHOSICA - LIMA
 FECHA : 29, DE NOVIEMBRE 2007

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

CALICATA : C-2
 PROF.(m.) : 1.00
 MUESTRA : M-1

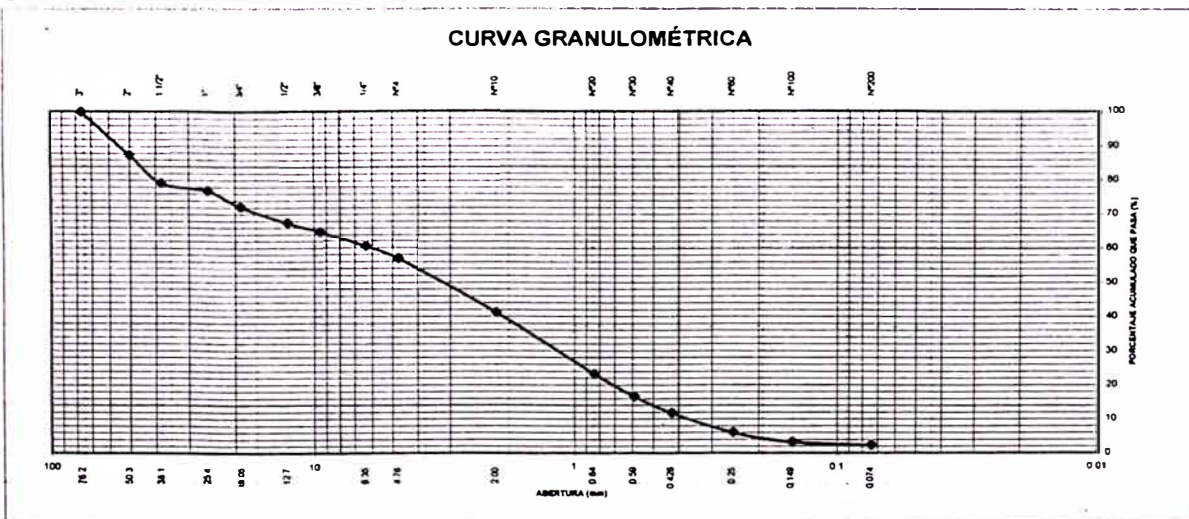
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Tamiz	Abertura (mm)	Parcial (%)	Reten (%)	
			Reten	Pasa
3"	76.200	-	-	100.0
2"	50.300	12.5	12.5	87.5
1 1/2"	38.100	8.2	20.7	79.3
1"	25.400	2.2	22.9	77.1
3/4"	19.050	4.8	27.7	72.3
1/2"	12.700	4.7	32.4	67.6
3/8"	9.525	2.6	35.0	65.0
1/4"	6.350	4.4	39.4	60.6
N°4	4.760	3.5	42.9	57.1
N°10	2.000	15.7	58.7	41.3
N°20	0.840	18.0	76.6	23.4
N°30	0.590	6.7	83.3	16.7
N°40	0.426	4.8	88.1	11.9
N°60	0.250	5.8	93.8	6.2
N°100	0.149	2.7	96.5	3.5
N°200	0.074	1.0	97.5	2.5
- N°200		2.5		

% grava	:	42.9
% arena	:	54.5
% finos	:	2.5

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
LÍMITE LÍQUIDO (%)	: NP
LÍMITE PLÁSTICO (%)	: NP
ÍNDICE PLÁSTICO (%)	: NP

Clasificación SUCS ASTM D2487



Nota. Muestra remitida e identificada por el Solicitante

Ejecución : Tec. Jorge Chávez U.
 Revisión : Ing. Luis Gonzales H.

LUIS GONZALES HIJAR
 ING. RESPONSABLE DE AREA
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI



WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
 ING. JEFE DEL LABORATORIO
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI

CUADRO G - 1

RESUMEN DE ENSAYOS DE MECANICA DE SUELOS

Proyecto: Santo Domingo - La Cantuta

Ejecutó: Ing. Claudio Manrique R.

Fecha: Mayo 1999

EXCAVAC Km	MUESTRA (m)	ANALISIS GRANULOMETRICO PORCENTAJE EN PESO PASA MALLA N°															P.e	W	L. CONSISTENCIA			CLASIF.	
		3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	4	10	20	40	50	100	200	Grava	%	LL	LP	IP	SUCS	
C-1	0.00-1.00	100.0	82.0	69.0	54.0	47.0	42.0	38.0	33.0	30.0	28.0	26.0	17.0	5.0	2.0	0.9	2.66	3.28	-	NP	-	GP	
C-2	0.75	100.0	86.0	71.0	60.0	52.0	44.0	40.0	34.0	31.0	27.0	19.0	14.0	3.0	2.0	0.5	2.67	4.19		NP		GP	

CUADRO G - 2

DENSIDADES: NATURALES, MAXIMAS, MINIMAS Y RELATIVAS

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	SUCS	DENSIDAD NATURAL (g/cm ³)		P.e Gravas	DENSIDAD (g/cc)			Angulo de Fricción
			HUMEDA	SECA		MAXIMA	MINIMA	RELATIVA (%)	
C-1	1.0	GP	2.41	2.30	2.66	2.40	2.20	52.2	35.8
C-2	0.75	GP	2.38	2.28	2.67	2.38	2.17	54.7	36.2