



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“MITIGACIÓN DE LAS MAXIMAS AVENIDAS EN  
LA QUEBRADA SAN IDELFONSO”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL

Autor:

Jorge Luis Loyola Luna Victoria

Asesor:

Mg. Gonzalo Hugo Diaz García

Trujillo - Perú

2019

## DEDICATORIA

*A tí Dios por darme la vida y la fuerza  
para seguir adelante, cuando atravesé  
aquellos momentos difíciles; me apoye  
en tí y pude continuar.*

*A mi Madre, persona a quien amo con  
devoción eres la persona más importante  
en mi vida junto a mi Abuelita Julia.*

*Para ti papá, Carlos, aún no hemos podido  
llenar ese vacío que dejaste, tú también Mañuco,  
nos hacen mucha, pero mucha falta.*

## AGRADECIMIENTO

Agradecer a **Dios** por sobre todas las cosas, sin él no habría vida.

Para mi **Madre**, a la que debo mi vida y admiración por todo lo que hemos pasado ayer y hoy, y por lo que gozaremos en el futuro.

A mi **Padre**, ahora sin el físicamente, este trabajo es un homenaje a tu memoria demostraste que las personas pueden cambiar, tú lo hiciste y ganaste un lugar al lado del Creador.

A mi tío **Manuel**, un segundo padre, me enseñaste mucho de la vida; a ti **Abuela** por todos tus consejos, para mi único hermano **Julio**, a la familia **Cabrera Rodríguez**, en especial a mi tía **Chabuca**.

A mis amigos de la Universidad, mis familiares y todos los que siempre estuvieron conmigo, les agradezco a todos.

**TABLA DE CONTENIDOS**

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>7</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>31</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>40</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>42</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Coeficientes de escorrentía para el método racional	25
<b>Tabla 2:</b> Características de la cuenca de la quebrada San Ildefonso	33
<b>Tabla 3:</b> Parámetros climáticos de la ciudad de Trujillo	34
<b>Tabla 4:</b> Clasificación del flujo en función de la concentración del sedimento O'Brien y Julien ,1988	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Diseño de las presas tipo sabo	29
<b>Figura 2:</b> Funcionalidad de las presas tipo sabo	30
<b>Figura 3:</b> Subdivisión de la cuenca de la quebrada San Ildefonso	33
<b>Figura 4:</b> Esquema de la geometría de la presa tipo sabo	39

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1:</b> Precipitación de tormenta para una duración “t”	22
<b>Ecuación 2:</b> Intensidad de tormenta para una duración “t” ( $3 \leq t \leq 24$ horas)	22
<b>Ecuación 3:</b> Intensidad de tormenta para una duración “t” ( $t \leq 3$ horas)	22
<b>Ecuación 4:</b> Intensidad máxima	23
<b>Ecuación 5:</b> Tiempo de concentración	23
<b>Ecuación 6:</b> Caudal de diseño	23
<b>Ecuación 7:</b> Volumen de agua	24
<b>Ecuación 8:</b> Volumen de sedimentos	26
<b>Ecuación 9:</b> Caudal máximo del flujo de detritos	26
<b>Ecuación 10:</b> Caudal total o caudal máximo de flujo de detritos	27
<b>Ecuación 11:</b> Velocidad del flujo	27

## RESUMEN

La sostenibilidad de las ciudades se basa en las acciones que sus pobladores puedan gestionar y una de estas es ante eventos extraordinarios, que como ocurre en nuestro territorio, es “El Niño”. La propuesta que se plantea es una de las muchas que habrá en el camino de concretarse alguna, sin embargo, esta tiene el agregado de ser sostenible pues a la reforestación se suma el evitar que los sólidos que arrastra los huaycos lleguen a la ciudad generando daños que ya son hartos conocidos.

El estudio propone un sistema de mitigación el cual permite la escurrimiento por lluvias sin arrastre de sólidos y el embalsamiento de agua en las presas escalonadas, deteniendo así lo violento del flujo hacia la ciudad de Trujillo.

Es sostenible porque el agua embalsada permitiría el riego de la especie forestal y a futuro, generar un bosque seco, que sustentará la vida silvestre de las especies nativas y las que migrarían, en consecuencia, el turismo a esa zona será un gran atractivo para la ciudad.

Con la seguridad del caso, puedo decir que esta propuesta dará resultados satisfactorios, no sin dejar de recibir sugerencia para la mejora del caso.

**Palabras clave:** Mitigación, huayco, reforestación, presas escalonadas



## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Una de las más impactantes anomalías climáticas registradas sobre el planeta es el denominado fenómeno El Niño. Observado desde fines del siglo XIX, pero en particular con más refinada óptica científica desde el evento producido en 1925, el fenómeno se ha convertido en sistemático objeto de estudio por parte de meteorólogos, oceanógrafos y demás científicos dedicados a la observación de la naturaleza. Sin embargo, fue solo a partir del devastador evento de 1983 que el interés por conocerlo mejor se avivó. Estaciones de monitoreo colocadas en distintas partes del mundo, observación por satélite y demás ayudas informáticas permiten afirmar que el fenómeno El Niño, después de haber sido considerado por décadas como un episodio circunscrito a la costa norte del Perú y entendido como una corriente marina de aguas cálidas que desplaza hacia el sur la corriente fría de Humboldt y que se halla asociada con altos volúmenes de pluviosidad, es un evento climático de enormes dimensiones que trae repercusiones sobre una vastísima área de la Tierra que abarca desde la India hasta Europa conjuntamente con América y Australia (Seiner, 2001). Durante los años 1998 y 2017, en los meses de verano en el caso específico de la ciudad de Trujillo y sus distritos, la ocurrencia de estas intensas lluvias, originaron inundaciones por desbordes de los ríos y quebradas; incidiendo en este aspecto la acción devastadora de las Quebradas San Idelfonso, ubicada frente al distrito de El Porvenir, El León ubicada frente al distrito de La Esperanza al noreste de la ciudad y San Carlos frente al distrito de Laredo al sur este de Trujillo; adquiriendo mayor notoriedad el último evento ocurrido en el 2017, donde el caudal de estas quebradas transitara sin control en forma de huayco, causando daños al tratar de retornar a su cauce actualmente ocupado o reducido por el crecimiento del área urbana, áreas de cultivo y reducción de la sección

hidráulica por deposición de escombros y basura principalmente. Sin embargo, pasado el violento suceso climático, la ciudad sin obras de protección presenta un alto riesgo de inundación de presentarse un nuevo evento igual o mayor magnitud, encontrando a la ciudad desprotegida con mayor densidad de población e infraestructura dispuesta en su recorrido; dejando características secuelas en la salud de la población, debido a la aparición de plagas y enfermedades, alcanzando una escala desconocida; situación que incide negativamente en el desarrollo social, cultural y económico, debido a que la ciudad no dispone de obras adecuadas para evacuar el agua de máximas avenidas.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuáles son las características y condiciones físicas actuales que permitirán implementar un sistema de mitigación de las máximas avenidas en la quebrada San Idelfonso?

## **1.3. Objetivos**

La presente investigación presenta información diagnóstica para posteriormente plantear una alternativa viable para evitar las graves consecuencias que deja a su paso este evento climático y que contribuirá al desarrollo de una cultura de prevención en el aspecto técnico de los desastres naturales, tarea en la que todos los profesionales, especialmente las ingenierías, deben estar involucrados desde su respectiva especialidad. por consiguiente, se propone los siguientes objetivos:

### **1.3.1. Objetivo general**

Elaborar un estudio como un diagnóstico para la implementación de un sistema de mitigación de las máximas avenidas en la quebrada San Idelfonso para evitar inundaciones en la ciudad de Trujillo.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Identificar las características y condiciones físicas avenidas en la quebrada San Idelfonso.

Describir las características y condiciones físicas avenidas en la quebrada San Idelfonso para diseñar y evaluar un sistema de mitigación.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Dentro de este marco, inicialmente se propone un esquema hidráulico de solución el cual contempla tres esferas de trabajo:

- La reforestación de la zona alta de la cuenca que cuenta con cerca de 6.6 km<sup>2</sup>.
- Almacenamiento escalonado y regulado de los caudales.
- Evacuación del agua de manera controlada .

Determinado sobre la base de la información hidrológica disponible de estas cuencas y la relación con el alto riesgo que presentan los centros urbanos, ubicación de las áreas de cultivo, frente a la posibilidad de una próxima máxima avenida. Razón por la cual se estimarán caudales máximos con criterio amplio, superiores a los caudales presentados en los años 1998 y 2017. Los registros de precipitación provendrán de la estación Laredo, de datos grillados PISCO-Senamhi, y de registros del pluviómetro Norte Verde proporcionado por la Junta de Usuarios de Riego Presurizado. Considerando la carencia de información hidrométrica, las máximas avenidas se estimarán utilizando el método SCS. La metodología basada en SCS, solo estima caudal líquido producto de las precipitaciones y las características morfológicas de la cuenca, el caudal que finalmente sale de la cuenca es sin duda superior, debido a que incluye los sedimentos durante el tránsito de la avenida, es así que finalmente en el Análisis de Sedimentos se ha estimado el hidrograma de flujo en base a la concentración en volumen de sólidos. La información topográfica perteneciente a ESTUDIO DE PREINVERSIÓN A NIVEL DE PERFIL “CREACION DEL SERVICIO DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES EN LA QUEBRADA DE SAN IDELFONSO, EN LOS DISTRITOS DE EL PORVENIR, TRUJILLO Y VICTOR LARCO HERRERA DE LA PROVINCIA DE TRUJILLO -

DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD”. La información de geomorfología se solicitará al archivo técnico del Proyecto Especial Chavimochic. Finalmente recogeremos información de trabajos similares en el Perú, en donde hallan establecido diferentes alternativas para evitar los estragos de las precipitaciones de gran intensidad. La alternativa debe contemplar un conjunto de requerimientos estructurales como las obras de ingeniería y las no estructurales como el ordenamiento territorial y elaboración de planes de mitigación, para proteger a la población e infraestructura existente contra las inundaciones.

## 2.1. Materiales

### 2.1.1. Información Topográfica

Mapa de peligros de Trujillo y zonas aledañas, elaborado por el Instituto de Investigación en Desastres y Medio Ambiente (2002) y fotos satelitales de Google Earth Pro.

### 2.1.2. Información Geológica

para el estudio geológico de la quebrada San Idelfonso y de la cuenca del río moche se tomará la información del estudio de pre inversión a nivel de perfil “Creación del servicio de protección contra inundaciones en la quebrada de san Idelfonso, en los distritos del porvenir, Trujillo y Victor Larco Herrera de la provincia de Trujillo -departamento de la Libertad”.

### 2.1.3. Información Pluviométrica

Los datos de precipitaciones fueron obtenidos de la estación meteorológica “Laredo” de propiedad de la Empresa Agroindustrial Laredo y fue seleccionada por las siguientes características: ubicación cerca de la zona de estudio y mayor

cantidad de registros anuales completos de precipitación, en comparación a otras Estaciones, ubicadas cerca de la zona de estudio.

#### 2.1.4. Equipos

- Computadora personal.
- Softwares: ArcGIS 10.3, AutoCAD Civil 3D 2019, Google Earth Pro y Microsoft Office
- Materiales de escritorio.

### 2.2. Métodos

#### 2.2.1. Descripción de la Zona de Estudio

- a) Ubicación política, el área de estudio corresponde a la micro cuenca formada por la quebrada San Idelfonso, localizada en sub cuenca Inter Cuenca Bajo Moche de la Cuenca del río Moche, al noreste de centro de la ciudad de Trujillo, estando la cabecera de la cuenca limitada entre los cerros El Alto y San Idelfonso, dentro de cinco (5) distritos: Laredo, El Provenir, Florencia de Mora, Trujillo y Víctor Larco Herrera, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad. Geográficamente, la quebrada en estudio está delimitada por un extremo superior en las coordenadas 9113578 N, 725033 E, a 875 msnm y por un extremo inferior 9109380 N, 721414 E, a 161 msnm.
- b) Vía de Acceso, la vía de acceso al área de estudio, desde la ciudad de Trujillo se toma como punto de referencia la Plaza de Armas y se parte por la vía terrestre hasta la avenida Miraflores en dirección al Distrito de Florencia de Mora hasta el Campo Santo Jardines de la Paz, para luego seguir por la avenida Las Animas hasta la avenida Sánchez Carrión continuando se puede ver el cauce de la quebrada ya siguiendo un camino de tierra.

#### 2.2.2. Recopilación de información - Antecedentes del Estudio

Los huaycos ocurridos en los distritos Laredo, El Provenir, Florencia de Mora, Trujillo y Víctor Larco Herrera han sido registrados, los más catastróficos que ocurrieron en los años 1925, 1982, 1997-1998 y 2017, en paralelo a El Niño. Estos huaycos han afectado significativamente a la ciudad de Trujillo y los distritos citados debido a la expansión urbana.

El Niño ocurrido en marzo de 1925 fue denominado “Mega Niño” por el INDECI. La progresión de temperatura superficial del mar (TSM) diaria de Trujillo y zonas aledañas muestran que la intensidad del calentamiento siguió un patrón similar al de El Niño Costero de 2017 (Takahashi & Martínez, 2017), superando entre febrero y marzo los valores máximos registrados en 1983, aunque por debajo de los registrados en 1998. Las fuertes lluvias inundaron las zonas aledañas de Trujillo en una hora y media, por lo que las ciudades fueron completamente destruidas por efecto de las aguas. La intensa lluvia alcanzó 395 mm (35 mm fue el promedio de 8 años anteriores) que afectó a las familias trujillanas, viviendas, calles que parecían ríos, interrupción del servicio ferroviario y hasta la aparición de grillos que en mayo de ese año se hizo insoportable, tanto así que se tuvo que incinerar la plaga, así como pedir especialistas de Lima.

Año 1982. El canal “La Mochica” desembalsa e inunda la ciudad de Trujillo debido a las lluvias y que este canal colecta el agua de la microcuenca.

Año 1997- 1998. Según el Sistema Nacional de Defensa Civil (SINADECI) el impacto de El Niño registrado en los años 1997-1998 tuvo un tipo de precipitación pluvial “muy intensa” y arrojó resultados negativos de gran magnitud por la ruptura de los diques de contención ubicados aguas arriba de la quebrada San Idelfonso y el colapso de la obra de interconexión del Mampuesto

al canal La Mochica Alta, por lo que existe una tendencia de vulnerabilidad en las zonas cercanas a la quebrada. En 1998 las aguas discurrieron hacia el cementerio de Mampuesto (Florencia de Mora), generando un gran embalse cuyas paredes no pudieron contener, desembalsándose y destruyendo todo a su paso recorriendo su cauce natural hasta el balneario de Buenos Aires, en Víctor Larco. Se debe precisar que no se realizó una adecuada estructura de alivio, sabiendo que naturalmente el agua de esta microcuenca desembocaba en el milenar canal “La Mochica” que desde tiempos de los Moche conducía el agua desde la parte alta de Laredo hasta Huanchaco. Las consecuencias de los desastres evidenciaron la falta de modelos regionales que permitan profundizar en el conocimiento de la estructura atmosférica como base para predicciones y pronósticos espaciales. Si bien los modelos océano-atmósfera mundiales ofrecen valores de pronóstico sobre las temperaturas del océano, no incorporan relaciones con la precipitación.

Año 2017. Durante los días 14, 15, 17, 18, 19 y 20 de marzo del 2017, la activación de la quebrada San Idelfonso generó 07 huaicos que afectaron los distritos de El Porvenir, Trujillo, Víctor Larco Herrera y Florencia de Mora. Las lluvias persistentes que cayeron en esta cuenca produjeron el desbordamiento de un dique construido con anterioridad hasta su total desbordamiento. En la cabecera de la cuenca en donde las quebradas secundarias presentan pendientes altas y ante la presencia de periodos fuertes de precipitaciones se produce grandes arrastres de bloques y bolonería que se acumulan tanto en las laderas de los cerros como en el cauce de la quebrada. Durante épocas de normales lluvias en la cuenca del río Moche se producen moderadas erosiones de las márgenes del río. Durante la aparición del fenómeno de El Niño en esta región, estos



problemas se ven magnificados produciéndose la erosión de sus laderas e inundación en las partes más bajas del valle. Si bien el FEN del 2017 fue de características y por mecanismos locales, a diferenciade los eventos de 1982-1983 y 1997-1998, bastante similar al evento El Niño del año1925, los sucesos fueron consecuencia de las lluvias que causaron una gran crecida con avalancha de lodos de la Quebrada San Idelfonso, originando una vulnerabilidad latente en los distritos de Florencia de Mora, el Porvenir, Víctor Larco y la misma ciudad de Trujillo con gran destrucción de viviendas, pérdidas de negocios, infraestructura urbana y daños en los sistemas de saneamiento.

### 2.2.3. Caracterización de la Quebrada San Idelfonso

La zona de estudio corresponde a la quebrada San Idelfonso, y esta tiene como cono de deyección situada en la ciudad de Trujillo y el distrito de Víctor Larco, para ser más específico, el balneario de Buenos Aires.

2.2.3.1. Topografía: La información topográfica de la zona de estudio se obtuvo de los mapas de peligros de Trujillo y zonas aledañas, elaborado por el Instituto de Investigación en Desastres y Medio Ambiente (2002) y fotos satelitales de Google Earth Pro. El software ArcGIS nos permitirá delimitar la cuenca.

2.2.3.2. Geología: La ciudad de Trujillo presenta un suelo homogéneo; arena pobremente graduada de grano fino, que varía en potencia, compacidad y resistencia en los diferentes sectores de la ciudad. Las características de mecánicas de suelos son:

- a) Distritos de El Porvenir, La Esperanza y Florencia de Mora. Presentan suelos de naturaleza heterogénea en su estrato superficial, mientras ue su estrato principal está constituido por arenas finas y arcillosas.

- b) Distrito de Trujillo. La parte baja de Trujillo, está constituida mayoritariamente por tres tipos de suelos: areno arcillosos, arcillosos de ligera y mediana plasticidad y areno limosos. Los suelos de tipo areno arcillosos de compacidad semidensa-densa y partículas de forma subangulosa a subredondeada, se presentan en las áreas correspondientes a sectores urbanos ubicados en la parte este, central y oeste del distrito de Trujillo. Los suelos arcillosos de ligera y mediana plasticidad, que corresponden a los sectores ubicados al oeste del área central de Trujillo, se caracterizan por ser muy consistentes en estado seco, pero que se ablandan hasta reducir un 70% de su capacidad admisible cuando se saturan, volviéndose compresibles de acuerdo al estado de plasticidad que tiene.
- c) Distrito de Víctor Larco Herrera. Presenta una diversidad de suelos: arenas finas uniformes, arcillas altamente plásticas, limos orgánicos, entre otros. Los sectores correspondientes a la franja del litoral, predominan los suelos que contienen arenas finas uniformes o pobremente graduadas de compacidad de suelta a semi-densa y dependiendo de la zona.
- d) Distrito de Laredo. La geología de Laredo es llana en la parte baja del valle Moche o Santa Catalina y con suave pendiente y variedad de accidentes geográficos hacia la parte alta, por donde el río Moche surca el distrito de forma transversal de este a oeste. Asimismo, se caracteriza por ser de consistencia pedregosa, arenosa, rocosa; que configura extensiones planas, eriazas y accidentadas.
- a) Quebrada San Idelfonso. En dicha cuenca se ha cartografiado a la Formación Chicama, así como rocas de naturaleza intrusiva pertenecientes al Batolito de la Costa conformadas mayormente por granodioritas. Se ha podido

determinar que existen depósitos eólicos más antiguos que otros y cuya diferencia está en el grado de erosión existente en ellas. Asimismo, la quebrada se encuentra conformado por conos de deyección o abanicos compuestos de bloques, bolones, gravas, arenas y en menor proporción limos y arcillas. Estas zonas son geodinámicamente activas y de alto peligro, debido a que los cauces no están bien definidos. Son susceptibles por acción del agua a erosionarse, deslizarse y sufrir derrumbes.

2.2.3.3. Geomorfología: En la quebrada San Idelfonso, a partir del Modelo Digital de Terreno (MDT) de la cuenca, se delimitará y subdividirá en unidades menores, para obtener la red de drenaje. El tiempo de concentración representa el tiempo que tardaría una gota de agua, caída en el punto de la cuenca hidrológicamente más alejado de la sección de salida, en recorrer el camino que la separaría de la mencionada sección. El valor del Número de Curva de la cuenca fue obtenido de los datos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), que en el año 2012 determinó valores de curva número a nivel nacional, a una resolución de 30 metros de tamaño de pixel para condiciones húmedas, normales y secas

2.2.3.4. Hidrología: La información hidrológica de la zona de estudio se pudo obtener de la estación meteorológica Laredo.

a) Análisis de datos dudosos para las precipitaciones máximas en 24 horas. El análisis consistirá en la detección de datos anómalos en series de precipitaciones máximas para periodos de 24 horas, empleando el método de Walter Resources Council. Este método se basa en la realización de ajustes de datos dudosos (outliers), porque son puntos de la información alejados significativamente de la tendencia de la información restante.

b) Distribución de Probabilidades Para los datos de precipitaciones se empleará para realizar pruebas de distribución: Gumbel, Pearson, Normal, Log-Normal, Pearson tipo III y Log- Pearson de Tipo III.

c) Prueba de Bondad de Ajuste de Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas. La prueba de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (distribución Gumbel, Pearson, Normal, Log-Normal, Log- Pearson de Tipo III) se utilizará para comparar la diferencia existente entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica, con el propósito de obtener el mejor ajuste de todas las distribuciones.

d) Ajuste de Precipitación Máxima Anuales en 24 horas ( $P_{máx}$ ). El mejor ajuste de las distribuciones fue seleccionado para ser evaluado en todos los periodos de retornos de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200, 300, 500 y 1000 años, optando por afectar a las precipitaciones de cada periodo de retorno por 1.13, valor recomendado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para su conversión en precipitaciones máxima en 24 horas.

e) Coeficiente de Distribución Regional. Los coeficientes de distribución regional de la zona de estudio se determinarán empleando la metodología propuesta en el estudio Hidrología del Perú, realizado por el convenio IILA-SENAMHI-UNI en 1983. Estos coeficientes permitirán distribuir precipitaciones máximas de 24 horas, corregidas para diferentes tiempos menores a 24 horas.

Las expresiones que plantea el estudio son las siguientes:

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

$$I_{t,T} = a(1 + K \log T)t^{n-1} \quad (2)$$

Donde:

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

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

K, n y a: constantes regionales

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

$$I_{t,T} = a(1 + K \log T)(t + b)^{n-1} \quad (3)$$

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

Se obtuvo la región hidrológica del mapa de Subdivisión del territorio en zonas y subzonas pluviométricas del Perú.

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

$$I = \frac{10^k T^m}{t^n} \quad (4)$$

Donde:

I: Intensidad máxima (en mm/h).

T: Período de retorno (en años).

t: Duración de precipitación (min).

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

$$tc = \frac{0.06629L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (5)$$

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

$$Q = \frac{CIA}{3.6} \quad (6)$$

Donde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s).

I: Intensidad máxima (mm/h)

A: Área de drenaje (km<sup>2</sup>).

C: Coeficiente de escorrentía.

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

a) Concentración de sedimentos (Cv): Indica el comportamiento del flujo, fue calculado siguiendo los lineamientos de la clasificación propuesta por O'Brien y Julien (1988) y seleccionado de acuerdo a las características visuales del flujo.

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

$$V_a = Q \cdot T_c \quad (7)$$

Donde:

Q: Caudal de agua (m<sup>3</sup>/s).

Tc: Tiempo de concentración (s).

Tabla 1. Coeficientes de escorrentía para el método racional

<b>Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional.</b>							
<b>Característica de la superficie</b>	<b>Período de retorno (años)</b>						
	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
<b>Áreas desarrolladas</b>							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto / techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
<i>Condición pobre</i> (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
<i>Condición promedio</i> (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
<i>Condición buena</i> (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
<b>Áreas no desarrolladas</b>							
<b>Área de cultivos</b>							
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
<b>Pastizales</b>							
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
<b>Bosques</b>							
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
<i>Nota:</i> Los valores de la tabla son los estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas. Utilizada con Autorización.							

c) Concentración de sedimentos ( $C_v$ ): El volumen de sedimentos fue estimado mediante el valor de la concentración de sedimentos, porque es la ecuación que



representa la relación entre el volumen de sedimentos y el volumen de agua más el volumen del sedimento, tal como se muestra a continuación: Y al final se volvió una ecuación simple siendo nuestra variable el volumen de sedimentos.

Tal como muestra a continuación:

$$C_v = \frac{V_s}{V_s + V_a} \qquad V_s = \frac{C_v \cdot V_a}{1 - C_v} \qquad (8)$$

Donde:

V<sub>s</sub>: Volumen de sedimentos (m<sup>3</sup>).

V<sub>a</sub>: Volumen de agua (m<sup>3</sup>).

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

$$Q_d = Q_d P = Q_0 \frac{C^*}{C^* + Q_{da}} \qquad (9)$$

Donde:

Q<sub>d</sub>: Caudal máximo del flujo de detritos.

Q<sub>0</sub>: Caudal máximo líquido.

C<sub>d</sub>: Concentración volumétrica de sólidos.

C\*: Concentración máxima de sólidos.

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

$$Q_t = \left[ \left( 1 + \frac{V_s}{V_a} \right) + \left( \frac{\rho - 1}{\sigma - \rho} \right) \right] \cdot Q_l \quad (10)$$

Donde:

$Q_t$ : Caudal total o caudal máximo de flujo de detritos.

$V_s$ : Volumen de detritos (m<sup>3</sup>).

$V_a$ : Volumen de agua (m<sup>3</sup>).

$\rho$ : Densidad de fluidos de detritos (t/m<sup>3</sup>).

$\sigma$ : Densidad de fluidos de detritos (t/m<sup>3</sup>).

$Q_l$ : Caudal líquido (m<sup>3</sup>/s).

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

$$V = 2.11 \cdot Q^{0.33} \cdot S^{0.33} \quad (11)$$

Donde:

V: Velocidad (m/s).

Q: Caudal de flujo de detritos (m<sup>3</sup>/s).

S: Pendiente.

#### 2.2.4. Evaluación de la alternativa más adecuada para estabilización de la quebrada

Los mecanismos empleados comúnmente para la estabilización geomorfológica de las quebradas, serán nombrados a continuación: - Muros de Piedra Los muros de piedra actúan como los muros de contención que se utilizan para detener masas de tierra u otros materiales sueltos, en escenarios donde las condiciones no permiten que estas masas asuman sus pendientes naturales, su estabilidad la deben fundamentalmente al peso propio y al peso del material que está sobre su

fundación. Por ello son comúnmente utilizados para la estabilización de taludes en una quebrada

- Presas tipo sabo

Son presas conformadas por una estructura de concreto con tuberías centrales que permiten el paso del agua. Sin la construcción de la presa en un evento que se produzca unos flujos de detritos, este descendería rápidamente por el cauce llegando a generar daños tanto ambientales como materiales a la población aledaña y en el curso de la quebrada. En un evento en que se produzca flujo de detritos, la presa serviría como un obstáculo para el mismo, haciendo que los sedimentos y material de fondo sean atrapados temporalmente por la presa y detengan su flujo aguas abajo, pero por la configuración que tienen las presas se permite el paso del agua, el cual, tendrá un menor impacto. Al terminar este tipo de flujo y con eventos posteriores de crecientes menores se va limpiando la presa de sedimentos, llevando cierta cantidad de sedimentos aguas abajo, pero en cantidades que no generarían riesgos potenciales.

- Reforestación

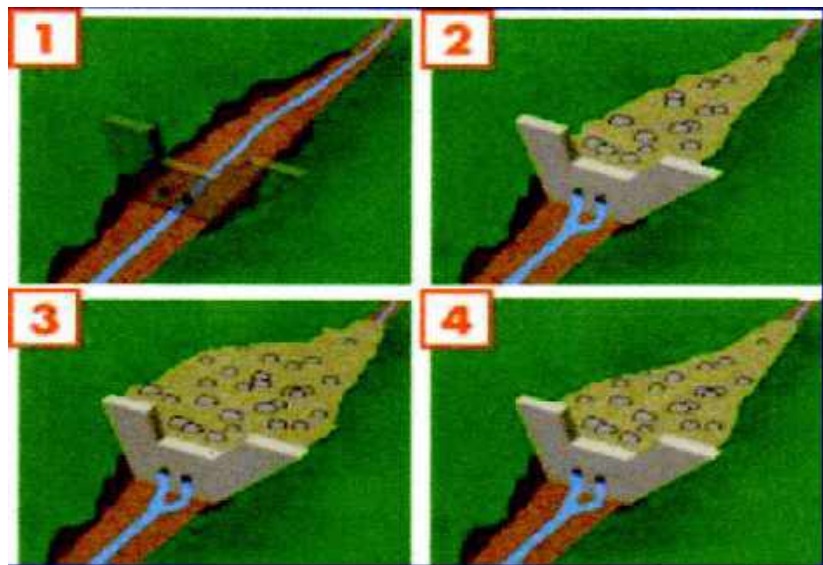
La reforestación es una medida más barata y fácil para la protección de erosión en los suelos, siempre y cuando se realice con plantas nativas de la zona. Estas prácticas de reforestación, se emplean en terrenos con pendientes pronunciadas donde el objetivo es captar e infiltrar el agua de lluvia uniformemente y a la vez controlar la erosión; ello es igualmente valido para zonas áridas y semiáridas. Para tales condiciones, tanto en el Perú como en otras partes del mundo, plantar al lado de zanjas o canales en curvas de nivel tiene varias ventajas. Esta

alternativa casi siempre debe ser tomada en cuenta porque como se menciona tiene como principal función la infiltración de las precipitaciones, pero se debe realizar de manera adecuada siempre plantando especies de la zona y no incluyendo a otras diferentes que a la larga puede perjudicar a la flora nativa del lugar.

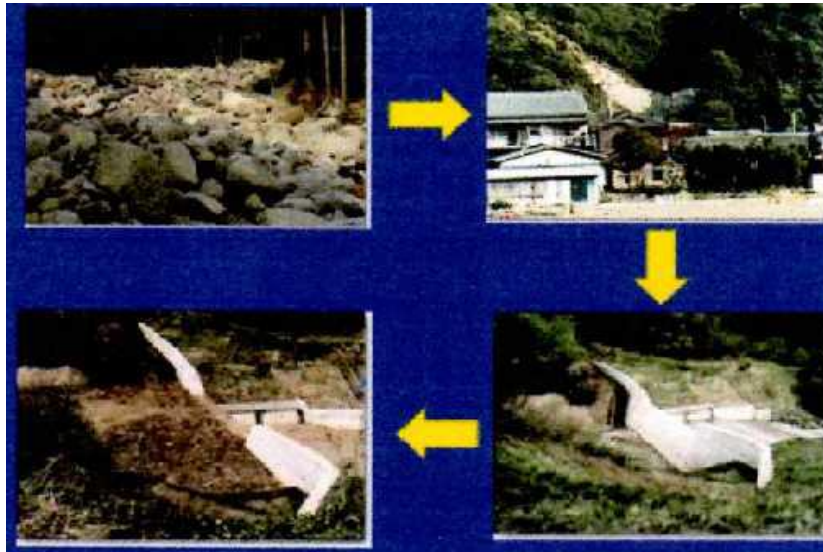
#### 2.2.5. Selección de la alternativa adecuada

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

2.2.6. Presas tipo sabo: serán construidos en la parte media a baja del cauce principal de la quebrada, para su construcción se empleará material de la zona como se describe a continuación:



*Figura 1. Diseño de las presas tipo sabo*



*Figura 2.* Funcionalidad de las presas tipo sabo

Se tendrá los principios de los muros de contención, para el diseño se procederá con el cálculo de las dimensiones que deben cumplir con factores de seguridad, se realizó de acuerdo a las recomendaciones indicadas en el Capítulo 1 y 6 del Manual de Carreteras, Túneles, Muros y Obras Complementarias - Volumen II del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. El dimensionamiento consiste en la definición preliminar de su geometría y de sus dimensiones mínimas, a partir del cual se realiza el estudio de estabilidad. En general, el procedimiento para el dimensionamiento es esencialmente de tanteos. Se suponen dimensiones provisionales antes de poder investigar la estabilidad o la resistencia estructural, para lo cual se pueden adoptar los criterios comentados a partir de las dimensiones inicialmente definidas, se realiza un cálculo de estabilidad de la estructura, que dependiendo del tipo de muro puede ser tanto externa como interna. En función de los resultados obtenidos, se evalúa la necesidad de

modificar algunas de las dimensiones, antes de obtener un proyecto satisfactorio. En este sentido, los factores que más influyen en la definición geométrica de un muro de contención son los siguientes:

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

### **2.3. Reforestación:**

De la parte media a alta se puede reforestar con especies de la zona, con esto se puede generar un bosque seco, en especial los árboles de la especie *Prosopis pallida* (algarrobo), son, por excelencia, asombrosamente beneficiosos en relación con el medio y el clima donde crecen; en zonas que de otro modo serían desérticas y estériles, mantienen una combinación de vegetación húmeda y temperatura que hace posible la supervivencia de animales y personas, como lo demuestra la existencia de poblaciones humanas que habitaron en sus inmediaciones desde tiempos inmemoriales. Además, sería una fuente de ingresos por turismo.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Resultados de la caracterización de la quebrada

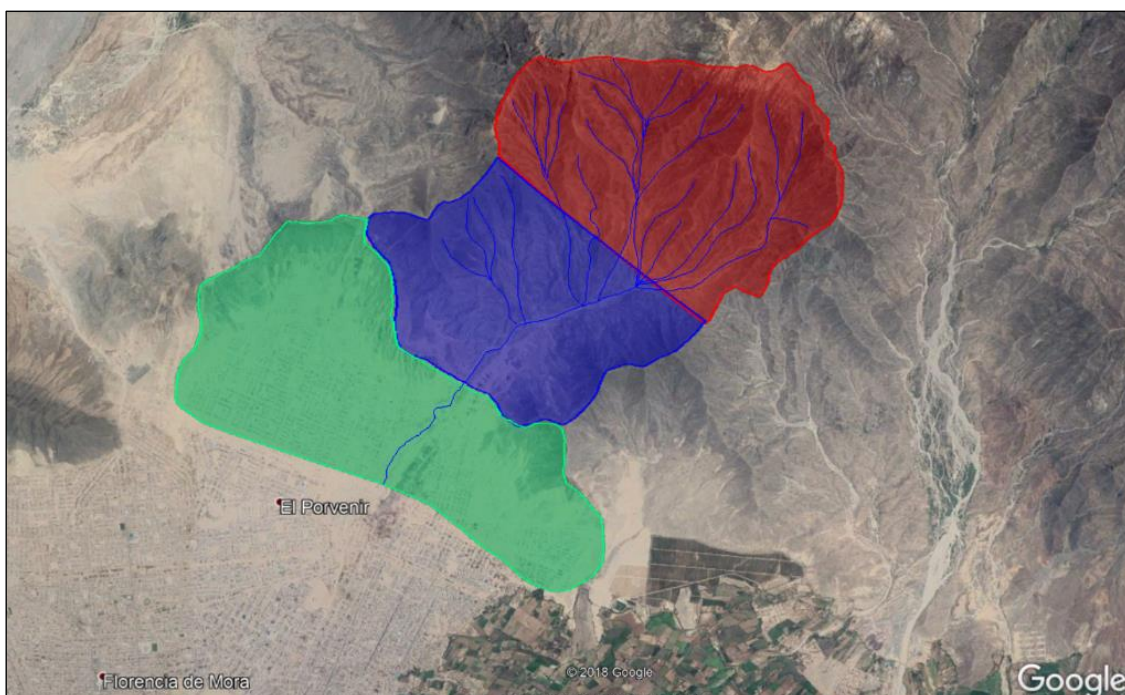
Los resultados de cada ítem desarrollado en el capítulo anterior se detallarán a continuación:

#### 3.1.1. Topografía

La Quebrada según el alineamiento obtenido nos muestra una longitud de 4,688.37m., su topografía es ondulada con una orografía mayor a 50.00% lo cual indica que tiene pendiente moderadas en laderas o secciones transversales:

- Ancho estable: 50.00 m. (Método Blench)
- Profundidad del cauce: 1.80 – 3.50m.
- Pendiente del cauce ponderado: 12.27%
- Área de la cuenca: 22.32 km<sup>2</sup>
- Perímetro de la cuenca: 22.69 km.
- Cota mínima: 126.00 m.s.n.m.
- Cota máxima: 996.00 m.s.n.m.

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



*Figura 3.* Subdivisión de la cuenca de la quebrada San Ildefonso

*Tabla 2.* Características de la cuenca de la quebrada San Ildefonso

Subdivisión	Superficie (km <sup>2</sup> )	Pendiente (%)
Alta	7.10	32
Media	6.11	4.23
Baja	9.11	2.28

### 3.1.2. Hidrología

#### a. Datos climáticos de la ciudad de Trujillo

La data analizada consta de los valores de precipitaciones mensuales que arrojaron como resultados a 66.2 mm. de valor acumulado anual y una intensidad de 6.0 mm



**Tabla 3. Parámetros climáticos de la ciudad de Trujillo**

MES	Temperatura °C			Precipitación (mm)		H.R	P. Rocío	Índice
	Med.	Máx.	Mín.	mes	Inten. Máx.	%	°C	T.H (°C)
ENE	24.4	30.4	19.8	0.8	2.0	82.1	25.2	26.2
FEB	25.5	31.7	20.7	8.6	4.1	75.9	20.7	27.3
MAR	25.6	31.9	21.7	42.6	6.0	80.4	21.9	27.9
ABR	23.4	30.5	18.4	10.4	0.8	77.0	19.0	25.0
MAY	21.9	30.7	16.8	0.0	0.0	76.7	17.5	24.3
JUN	19.5	26.6	14.1	0.0	0.0	79.2	15.7	23.3
JUL	18.5	25.7	13.5	0.0	0.0	79.5	14.8	22.6
AGO	17.1	23.8	14.1	2.6	0.0	82.7	14.1	21.3
SET	17.1	23.9	13.3	0.8	0.0	82.7	14.1	21.6
OCT	17.2	24.0	13.1	0.4	0.0	80.9	13.8	21.5
NOV	17.6	24.1	12.8	0.0	0.0	77.2	13.4	21.5
DIC	20.4	28.7	15.6	0.0	0.0	78.3	16.4	23.8
<b>ANUAL</b>	<b>20.2</b>	<b>31.9</b>	<b>12.8</b>	<b>66.2</b>	<b>6.0</b>	<b>79.3</b>	<b>16.8</b>	<b>23.5</b>

**b. Tiempo de concentración**

El tiempo de concentración de la tormenta estimado fue de 0.48 horas, según la ecuación de Kirpich

$$tc = \frac{0.06629(4.69)^{0.77}}{(0.13)^{0.385}} = 0.48 \text{ horas}$$

**c. Caudal de diseño**

Por la poca data existente y su inconsistencia, no pudimos emplear el método racional para lo cual se calculó el caudal con la fórmula

$$Q = \frac{(0.8)(6)(22.32)}{3.6} = 29.76 \approx 30 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 3.1.1. Hidráulica del flujo de escombros

#### a. Concentración de sedimentos

La concentración de sedimentos es 0.40, fue selecto de la tabla clasificación de O'Brien y Julien (1988) que se muestra a continuación

*Tabla 4.* Clasificación del flujo en función de la concentración del sedimento O'Brien y Julien ,1988

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

b. Volumen de agua

$$V_a = (Q)(T_c) \rightarrow V_a = (30)(0.48)(3600) = 51840 \text{ m}^3/$$

c. Volumen de sedimentos

$$V_s = \frac{(C_v)(V_a)}{1 - C_v} = \frac{(0.40)(51840)}{1 - 0.40} = 34560 \text{ m}^3$$

d. Caudal total de flujo

$$Q_d = Q \cdot \frac{C^*}{C^* - C_d} = 30 \cdot \frac{0.65}{0.65 - 0.40} = 78 \text{ m}^3/\text{s}$$

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

e. Densidad de flujo

$$Q_d = \left[ \left( 1 + \frac{V_s}{V_a} \right) + \frac{\rho - 1}{\sigma - \rho} \right] \cdot Q \rightarrow 78 = \left[ \left( 1 + \frac{34560}{51840} \right) + \frac{\rho - 1}{1.8 - \rho} \right] \cdot 30$$

$$\rho = 1.39 \text{ t/m}^3$$

Donde

$Q_d = 78 \text{ m}^3/\text{s}$  es el caudal total o caudal máximo de flujo de detritos,

$V_s (\text{m}^3) = 34560$  es el volumen de detritos,

$V_a (\text{m}^3) = 51840$  volumen del agua,

$\rho (\text{t/m}^3) = X$  es la densidad del fluido de detritos,

$\sigma (\text{t/m}^3) = 1.8$  por lo general toma este valor la densidad del sedimento,

$Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$  es el caudal líquido.

f. Velocidad de flujo

La velocidad del flujo de escombros se estimará con la siguiente expresión:

$$V = (2.11)(Q^{0.33})(S^{0.33}) \rightarrow V = (2.11)(78^{0.33})(0.13^{0.33}) = 4.53 \text{ m/s}$$

Donde:

Q (m<sup>3</sup>/s): Caudal de flujo de detritos

S: Pendiente

Se encuentra dentro del rango del flujo de escombros que va de 0.5 a 20 m/s propuesto por el autor Costa (1984).

Los resultados obtenidos anteriormente como: topografía, geología - geomorfología y los de hidrología son datos preliminares que se utilizarán para el diseño de la alternativa mixta elegida. Como por ejemplo las curvas topográficas serán útiles para la colocación de las presas tipo sabo. De la hidrología obtenemos los caudales para diseño de dichas presas y las zonas de reforestación.

### **3.2. Resultados del diseño elegido**

#### **3.2.1. Diseño de las presas tipo sabo**

Son diez presas tipo sabo que serán construidas en la parte media a baja del cauce principal de la quebrada, para su construcción se emplearán rocas de la zona que serán colocadas enfilas y se formarán bloques.

Del corte transversal vemos que las presas tendrán forma semi-trapezoidal.

Las presas fueron diseñadas para 4 y 3 metros de altura suponiendo inicialmente medidas provisionales geométricas luego se realizó el cálculo de estabilidad que fueron explicadas en ítem 2.2.6 de la Metodología. Para su dimensionamiento apropiado fue necesario conocer ciertos parámetros básicos como:

- Densidad específica: 1.39 tn/m<sup>3</sup> calculada para el flujo de escombros que servirá al cálculo de los empujes superficiales.
- El ángulo de fricción: 32 ° que se obtuvo del estudio de suelos.
- Cohesión 0.16 kg/cm<sup>2</sup> y la capacidad de carga admisible es de 4.07 kg/cm<sup>2</sup> ambos datos fueron obtenidos del estudio de suelos.

Todos estos cálculos fueron elaborados en una hoja de Excel para el dimensionamiento de diques de piedras.

La colocación de los diques de piedra se realizará en la parte media a baja de la quebrada porque es donde se depositan más escombros después de cada evento de huayco.

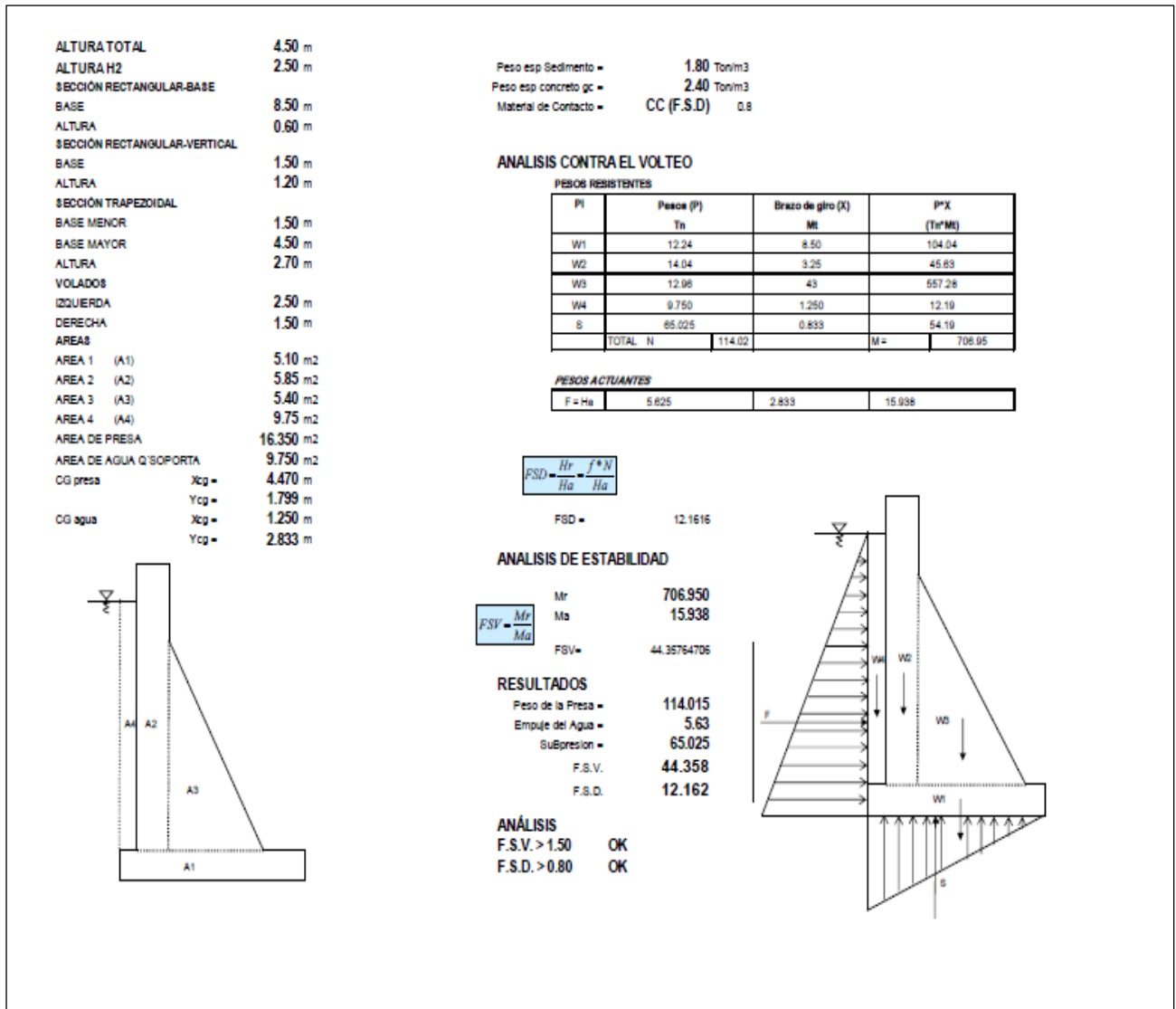


Figura 4. Esquema de la geometría de la presa tipo sabo

### 3.1.1. Reforestación

Es sabido que los regímenes pluviométricos en esta zona son variables, su comportamiento varía desde muy seco a muy lluvioso en eventos extraordinarios como lo es “El Niño”, debido a esto reforestar la zona alta y media de la cuenca con Algarrobo (*prosopis pallida*) sería lo más viable para formar sustrato y retener humedad, esto permitiría un descenso de agua sin arrastre de sólidos.

Para lograrlo se tendrá que construir un vivero para la producción y propagación de semillas de dicho árbol que será instalado en las laderas de la cuenca a un distanciamiento de 4 metros entre hileras y 4 metros entre plantas. La densidad que se deberá alcanzar será de 443750 plantas.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

A medida que pasan los años, los eventos extraordinarios de “El Niño” se presentan con mayor frecuencia, esto debido al natural cambio climático del que nosotros también colaboramos. Los cálculos hechos en el presente trabajo obedecen a bases teóricas, profundizar sobre modelos más eficientes para mitigar los efectos de los desbordes sería beneficioso, sin embargo, la debilidad de las autoridades y comunidad científica de nuestra localidad es la información, pues dicha información es clave para determinar con precisión y efectividad las acciones necesarias de mitigación frente a los eventos climatológicos.

El desorden con el cual ha crecido nuestra ciudad, sumado a la informalidad y precariedad de formalizar los predios conllevan a que cursos naturales de agua no se respeten, ocurre tanto en la ciudad como en el campo, las consecuencias son evidentes desde ya años atrás. Una ciudad asentada sobre el curso de una quebrada no será sostenible en el tiempo, debido a las inclemencias climáticas y el desinterés de tomar acciones que permitan mitigar sus efectos.

### 4.2. Conclusiones

La alternativa propuesta es una combinación de las medidas de mitigación de huaycos: la reforestación procura disminuir la erosión hídrica de la cuenca de recepción, principal causante del deslizamiento de escombros, y conducir el agua hacia el cauce, luego pasar a embalsar el agua y los sólidos en las presas de sabo.



El modelamiento hidráulico de la estructura es eficiente, debido a que se adapta a las condiciones reales de su entorno, puesto que se ve reflejado en los resultados los cuales han sido los esperados; sin embargo, no dejamos de enfatizar el hecho que se puede optimizarse cada método de cálculo.

La carga de sedimento que se retiene en cada presa es mayor a un metro, lo cual es una magnitud considerable y se puede afirmar que realmente se está mitigando el efecto de los huaycos a lo largo de la quebrada San Ildefonso, por lo tanto, se espera que al punto de salida llegue a un régimen de flujo subcrítico libre de bolonería, sedimentos de gran tamaño y material aluvial.

Las alternativas para mitigar los efectos de los desbordes en las quebradas sin muchas, sin embargo, todas ellas deberán tener un valor agregado y ser sostenibles.

El cauce estable es aquel cauce que se encuentra en equilibrio dinámico, no presentando tendencias a la erosión ni a la sedimentación en el mediano y largo plazo.

#### **4.3. Recomendaciones**

Se recomienda descolmatar la quebrada con el fin de homogenizar la superficie y tener más control sobre el régimen de flujo del río.

Establecer el monitoreo permanente de la quebrada y mediciones meteorológicas para futuros estudios para mejorar y proponer soluciones a otras zonas cercanas.

Debe instaurarse una política para el control de inundaciones orientado hacia la obtención de Normas Técnicas y Legales, así como a la elaboración de un Manual de Medidas de Protección y Prevención.

Las soluciones que se planteen deben ser consensuadas con las diversas instituciones de la localidad y con órganos colegiados.

**REFERENCIAS**

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

- PHILIPPE COUSSOT, (1997). *Mudflow Rheology and Dynamics*, International Association for Hydraulic Research. Ediciones A.A Balkema- Rotterdam.
- PRONAMACHCS (1988). *Impacto de la Conservación de suelos y aguas en la sierra peruana*. Lima- Perú. 20p.
- ROCHA, A (2007). “EL NIÑO”: ¿un desastre o un fenómeno? Recuperado en septiembre 10, 2015 de:  
[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/9912EC17252E1C3305257CA6005CC547/\\$FILE/FEN\\_Desastre\\_fenomeno.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9912EC17252E1C3305257CA6005CC547/$FILE/FEN_Desastre_fenomeno.pdf).
- ROCHA, A (2011). *El Impacto del Fenómeno de El Niño en Zonas Urbanas*. Recuperado en 20 de Diciembre del 2015 de:  
[http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas\\_interes/ROCHA/Impacto\\_del\\_FEN\\_en\\_zonas\\_urbanas.pdf](http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/ROCHA/Impacto_del_FEN_en_zonas_urbanas.pdf)
- SUAREZ, J (2001). *Control de Erosión en Zonas Tropicales*. Bucaramanga – Colombia.
- TREJO, V (1988). *Estudio Hidrogeodinámico del Huayco con el fin de Mitigar sus efectos, Cuenca Río Rímac- micro cuenca Malata*. Tesis Ing. Agrícola. Lima, Perú. UNALM. Pags. 80-86.
- TRICART, J. (1961). *Movimiento del Agua sobre la vertiente y los problemas geomorfológicos*. Ciclo de Conferencias, Lgga-1 UNI.
- VASQUEZ (2012). *Cosecha de Agua de lluvia en laderas Semiáridas de la sierra y su impacto en el proceso de Desertificación y cambio Climático*. Libro UNALM- Lima, Perú Pags. 25-26.