

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**TESIS**

**SISTEMA DE PREVENCION Y CONTROL DE EROSION EN  
LA RIBERA DEL RIO SAN FERNANDO TRAMO  
CHAYHUAMAYO – SHUCUSMA, HUANCAYO - JUNÍN**

TESIS PRESENTADO POR:

**Bach: EDISON ENRIQUE ALANYA BARZOLA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

HUANCAYO – PERU

2017

**ASESORES:**

ING. ORDOÑEZ CAMPOSANO, VLADIMIR

ING. ORTIZ FERNANDEZ, JAIME

## HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

---

Dr. Casio Aurelio Torres López

Presidente

---

PH.D. Mohamed Mehdi Hadi Mohamed  
Jurado Revisor

---

MG. Juan José Bullon Rosas  
Jurado Revisor

---

Ing. Julio Fredy Porras Mayta  
Jurado Revisor

---

Mg. Miguel Ángel, Carlos Canales  
Secretario Docente

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a Dios, quien supo guiarme por el buen camino, darme las fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se me presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. A mi hijo Benjamín quien es mi motivación, inspiración y felicidad.

## INDICE

CARATULA.....	i
ASESORES .....	ii
HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
INDICE.....	v
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	16
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	18
1.2.1 Formulación del problema general .....	18
1.2.2 Formulación de problemas específicos.....	18
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.3.1 Objetivo general .....	19
1.3.2 Objetivos específicos.....	19
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.5 LIMITACIONES .....	20

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
2.1.1 ANTECEDENTES NACIONALES.....	21
2.1.2 ANTECEDENTES INTERNACIONALES .....	23
2.2 BASES TEÓRICAS .....	27
2.2.1 LA EROSIÓN .....	27
2.2.2 TIPOS DE EROSIÓN .....	28

2.2.3	EROSIÓN EN RÍOS Y CORRIENTES DE AGUA.....	29
2.2.4	ETAPAS DE LA CORRIENTE DE AGUA .....	32
2.2.4.1	Etapa de formación o niñez .....	32
2.2.4.2	Etapa de juventud.....	33
2.2.4.3	Etapa de madurez.....	34
2.2.4.4	Etapa de vejez.....	34
2.2.5	CUENCA HIDROLÓGICA .....	35
2.2.5.1	Elementos de una cuenca.....	35
2.2.5.2	Partes de una cuenca .....	36
2.2.5.3	Clasificación.....	36
2.2.5.4	Curva característica de una cuenca .....	36
2.2.6	CAUDALES MÁXIMOS .....	37
2.2.6.1	Periodo de retorno de una avenida.....	37
2.2.7	MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO .....	38
2.2.7.1	Método directo .....	38
2.2.7.2	Métodos empíricos.....	38
2.2.7.3	Métodos estadísticos. ....	43
2.2.8	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EROSIÓN DE LAS RIBERAS .	44
2.2.8.1	Condiciones del flujo en el río .....	44
2.2.8.2	Características de los materiales de la ribera .....	45
2.2.8.3	Vegetación existente en la ribera. ....	45
2.2.8.4	Estabilidad del lecho. ....	45
2.2.9	FACTORES GEOTÉCNICOS EN LA EROSIÓN DE LAS RIBERAS .	46
2.2.9.1	Características del suelo.....	46
2.2.9.2	Parámetros geotécnicos. ....	47
2.2.9.3	Tipos de erosión en las riberas de los ríos.....	48
2.2.10	CONCEPTO DE FUERZA TRACTIVA .....	52
2.2.11	ESFUERZO CRITICO PARA INICIACION DE MOVIMIENTO.....	53
2.2.12	HIDRAULICA DE RIOS.....	53
2.2.13	CALCULO DE LA SOCAVACIÓN .....	54
2.2.14	FUNDAMENTO DE LA SOCAVACIÓN .....	56
2.2.15	SISTEMA DE CONTROL DE LA SOCAVACIÓN. ....	58

2.2.16 MÉTODOS DE PROTECCIÓN DE RIBERAS.....	59
2.2.16.1 Estructuras de protección de riberas.....	60
2.2.16.2 Elementos de control de movimiento. ....	61
2.2.17 TIPOS DE DEFENSAS RIBEREÑAS.....	64
2.2.17.1 Defensas rústicas.....	64
2.2.17.2 Defensas planificadas.....	64
2.2.18 CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE DEFENSAS RIBEREÑAS ....	65
2.2.18.1 Obras de tipo flexible.....	66
2.2.18.2 Obras de tipo rígido.....	68
2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	68
2.4 FORMULACIÓN DE HIPOTESIS.....	71
2.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	72

### **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	73
3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	74
3.3. DISEÑO DE INVESTIGACION.....	74
3.4. POBLACION MUESTRA.....	75
3.5. TECNICAS DE RECOJO, PROCESAMIENTO Y PRESENTACION DE DATOS.....	76
3.5.1 Fuentes de información.....	76
3.5.2 Técnicas.....	77
3.5.3 Instrumentos para la recolección de datos.....	78
3.5.4 Procesamiento y presentación de datos.....	89

### **CAPÍTULO IV ANALISI E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1. ANALISIS DE DATOS.....	90
4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	114
DISCUSIÓN.....	120
CONCLUSIONES.....	124

RECOMENDACIONES .....	125
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	126

### **INDICE DE CUADROS.**

Cuadro N° 01. Clasificación de los suelos según el tamaño de las partículas ....	47
Cuadro N° 02. Valores de la cohesión y el ángulo de rozamiento interno .....	48
Cuadro N° 03. Características geomorfología de la zona de estudio.....	84
Cuadro N° 04. Coeficiente de rugosidad (n) de cause (k), coeficiente tipo de material de cauce (m) .....	85
Cuadro N° 05. Cálculo de la sección estable .....	85
Cuadro N° 06. Métodos de protección de riberas .....	87
Cuadro N° 07. Caudal medio calculado en la progresiva 0+005. ....	91
Cuadro N° 08. Caudal medio calculado en la progresiva 0+015 .....	92
Cuadro N° 09. Caudal medio calculado en la progresiva 0+025 .....	93
Cuadro N° 10. Caudal medio calculado en la progresiva 0+035. ....	93
Cuadro N° 11. Caudal medio calculado en la progresiva 0+045 .....	94
Cuadro N° 12. Caudal medio calculado en la progresiva 0+055 .....	95
Cuadro N° 13. Caudal instantáneo para diferentes períodos de retorno .....	96
Cuadro N° 14. Descripción del perfil estratigráfico de la calita N° 01.....	98
Cuadro N° 15. Principales parámetros hidráulicos usados .....	98
Cuadro N° 16. Parámetros hidráulicos .....	99
Cuadro N° 17. Velocidades en el margen derecho.....	99
Cuadro N° 18. Esfuerzo máximo en el margen derecho.....	100
Cuadro N° 19. Evaluación de alternativa de solución.....	101
Cuadro N° 20. Factores propios. ....	102
Cuadro N° 21. Factores de zona .....	102
Cuadro N° 22. Pendientes aceptadas. Fuente: (AASHTO 1999).....	103
Cuadro N° 23. Pendiente de la ribera en el tramo crítico del tramo: Chayhuamayo-Shucusma .....	104
Cuadro N° 24. Altura total del muro de gavión .....	105
Cuadro N° 25. Datos para verificación de estabilidad .....	106
Cuadro N° 26. Cálculos de las fuerzas verticales.....	107

Cuadro N° 27. Cálculos de empujes activos y verificación por deslizamiento ..	107
Cuadro N° 28 Cálculos de momentos de estabilidad. ....	108
Cuadro N° 29. Cálculos de momentos por volcamiento y verificación por volcamiento.....	108
Cuadro N° 30. Chequeo de presión sobre el terreno.....	109
Cuadro N° 31. Presupuesto – defensa ribereña con el uso de muro de gaviones .....	111
Cuadro N° 32. Presupuesto – defensa ribereña uso de enrocado con roca colocada .....	112
Cuadro N° 33. Comparación de alternativas de solución .....	113

### **INDICE DE TABLA**

Tabla N° 01. Factores a tener en cuenta en el análisis de un río (Modificado de Winkley).....	31
Tabla N° 02. Coeficientes de escorrentía (tipo de superficie).....	49
Tabla N° 03. Coeficientes de escorrentía (cobertura de suelo) .....	40
Tabla N° 04. Factores de escorrentía de Mac Math .....	43
Tabla N° 05. Esfuerzo crítico para iniciación de movimiento para diámetros encontrados en riberas de ríos.....	53
Tabla N° 06. Probabilidad de falla para una obra cuya vida útil es de 25 o 50 años para períodos de retorno de 50, 100 y 500 años.....	83
Tabla N° 07. Nivel de desborde del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma.....	97
Tabla N° 08. Estadística 01 .....	97
Tabla N° 09. Nivel de deterioro de la ribera del río San Fernando tramo Chayhuamayo - Shucusma .....	101
Tabla N° 10. Estadística 02.....	102
Tabla N° 11. Cuenta la estructura de gaviones con desgaste .....	111
Tabla N° 12. Estadística 03.....	111

## **INDICE DE FIGURAS**

- Figura N° 01. Representación esquemática de las etapas de un río
- Figura N° 02. Formación de la corriente durante una lluvia (etapa de niñez)
- Figura N° 03. Tipos de erosión en riberas de material no cohesivo
- Figura N° 04. Tipos de erosión en riberas de material no cohesivo
- Figura N° 05. Mecanismo de falla de una ribera formado por material compuesto o estratificados
- Figura N° 06. Esquema general de un proceso de socavación por la construcción de un puente
- Figura N° 07. Espigones construidos con gaviones
- Figura N° 08. Dique longitudinal construido con roca.
- Figura N° 09. Gavión tipo cajón
- Figura N° 10. Gavión tipo colchón
- Figura N° 11. Gavión tipo saco.

## **INDICE DE IMÁGENES SATELITALES**

- Imagen satelital N° 01. Vista panorámica de la ribera del río San Fernando
- Imagen satelital N° 02. Vista panorámica de la zona vulnerable.
- Imagen satelital N° 03. Sub cuenca del río Mantaro de primer orden sistema Horton
- Imagen satelital N° 04. Simulación de flujo de agua con un caudal de diseño de  $68.04 \text{ m}^3/\text{s}$
- Imagen satelital N° 05. Área de acumulación de precipitación en la zona del proyecto

## **ANEXOS**

- ANEXO N° 01. Fotografías del tramo de estudio.
- ANEXO N° 02. Simulación de flujo de agua con un caudal de diseño de  $68.04 \text{ m}^3/\text{s}$  a través del tramo de estudio en el programa HEC-RAS 4.1 y detalle de las 13 secciones transversales.

ANEXO N° 03. Simulación de flujo de agua con un caudal de diseño de 68.04 m<sup>3</sup>/s con la ocupación de una estructura lateral en el tramo de estudio en el programa HEC-RAS 4.1, y detalle de las 13 secciones transversales.

ANEXO N° 04. Resultados de estudio de mecánica de suelos

ANEXO N° 05. Planos

ANEXO N° 06. Presupuesto referencial y metrados de la propuesta de uso de enrocado colocado y uso de muro de gaviones

ANEXO N° 07. Matriz de consistencia.

## RESUMEN

La presente investigación titulada “SISTEMA DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE EROSIÓN EN LA RIBERA DEL RÍO SAN FERNANDO TRAMO CHAYHUAMAYO – SHUCUSMA, HUANCAYO - JUNÍN”, tiene como problema general ¿Qué tipo de sistema de prevención y control de erosión se debe de emplear para evitar el deterioro de las riberas del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo – Shucusma, Huancayo – Junín? El objetivo general es determinar qué tipo de sistema de prevención y control de erosión se debe emplear para evitar el deterioro de las riberas del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma, Huancayo – Junín. La hipótesis planteada es: La interposición de un elemento estructural de muros de gaviones entre la orilla y la corriente de agua previene y controla significativamente el deterioro de las riberas del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma.

El tipo de investigación es aplicada, con un nivel descriptivo – explicativo, un diseño no experimental, con una población de 600 metros de ribera del río San Fernando entre el tramo Chayhuamayo – Shucusma y una muestra no aleatoria elegida por conveniencia de 60 metros progresiva 0:000 – 0:060 metros.

Conclusión principal es; El sistema de interposición de una estructura de muro de gaviones previene y controla la erosión de taludes en la ribera del río San Fernando, el caudal máximo  $10.13\text{m}^3/\text{s}$  por el método de medición in-situ en épocas de máximas avenidas, las características mecánicas de los suelos encontrados es material de grava mal graduada GP-GC, cuya cohesión es de  $0.40\text{Tn}/\text{m}^2$  y su ángulo de fricción es de  $27.9^\circ$ , la velocidad y esfuerzo cortante del río cuando esta queda desbordada por el margen derecho es de  $2.59\text{m}/\text{s}$  y un esfuerzo cortante máximo de  $80.27\text{N}/\text{m}^2$ .

**Palabras claves:** Prevención y control de erosión, sistema de interposición, estructura de protección.

## ABSTRACT

The present investigation entitled "SYSTEM OF PREVENTION AND CONTROL OF EROSION IN THE RIBERA OF THE RIVER SAN FERNANDO TRAMO CHAYHUAMAYO - SHUCUSMA, HUANCAYO - JUNÍN", has as general problem What kind of erosion prevention and control system should be used to avoid the deterioration of the banks of the San Fernando River in the Chayhuamayo - Shucusma, Huancayo - Junín? The general objective is to determine what type of erosion prevention and control system should be used to avoid deterioration of the banks of the San Fernando River in the Chayhuamayo - Shucusma, Huancayo - Junín section. The hypothesis proposed is: The interposition of a structural element of gabion walls between the shore and the water stream significantly prevents and controls the deterioration of the banks of the San Fernando river in the Chayhuamayo - Shucusma stretch.

The type of research is applied, with a descriptive - explanatory level, a non - experimental design, with a population of 600 meters of San Fernando river between the Chayhuamayo - Shucusma stretch and a non - random sample chosen for convenience of 60 meters progressive 0 : 000 - 0: 060 meters.

Main conclusion is; The system of interposition of a gabion wall structure prevents and controls erosion of slopes on the San Fernando river bank, the maximum flow 10.13m<sup>3</sup> / s by the in-situ measurement method in times of maximum avenues, the mechanical characteristics of the soils found is poorly graded gravel material GP-GC, whose cohesion is 0.40Tn / m<sup>2</sup> and its angle of friction is 27.9 °, the speed and shear stress of the river when it is overflowed by the right margin is 2.59 m / s and a maximum shear force of 80.27N / m<sup>2</sup>.

**Key words:** Prevention and erosion control, interposition system, protection structure.

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis de investigación tiene por finalidad proponer un sistema de prevención y control de erosión, pensado principalmente en el riesgo permanente que corren las poblaciones ante el deterioro de sus vías de comunicación e inundación de zonas agrícolas. Por eso se hace necesario profundizar el estudio para la aplicación de nuevas tecnologías que sean una alternativa de solución para la erosión de los taludes en las riberas de los ríos de esta región.

Nuestro país es vulnerable a desastres naturales, muchos de los cuales han dejado grandes pérdidas materiales en los principales sectores productivos, siendo los terremotos, los huaycos, inundaciones y desborde de ríos los que han ocasionado mayor daño.

Los trabajos de prevención de erosión en las riberas de ríos son escasos en nuestro país, en especial en las regiones alejadas como es el caso del Distrito de Santo Domingo de Acobamba región ceja de selva. La construcción de defensas ribereñas en esta región del país es dificultosa por la carencia de registros hidrológicos y por la lejanía de la zona lo que dificulta el transporte de materiales para cualquier tipo de proyecto que se desea realizar.

Las nuevas tecnologías están basadas principalmente en proponer una alternativa que cumpla con los estudios técnicos - económicas viable en defensas ribereñas de los ríos de ceja de selva que no cuente con registros hidrológicos y por su lejanía de la zona a la Provincia de Huancayo que hace dificultoso el transporte de materiales; haciendo posible la ejecución de proyectos de construcción de ingeniería civil.

El problema del cual partimos fue ¿Qué tipo de sistema de prevención y control de erosión se debe de emplear para evitar el deterioro de las riberas del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo – Shucusma, Huancayo – Junín?

Siendo el objetivo determinar qué tipo de sistema de prevención y control de erosión se debe emplear para evitar el deterioro de las riberas del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma, Huancayo – Junín.

El trabajo de investigación consta de los siguientes capítulos:

El capítulo I: está relacionado con el planteamiento del problema, considerando la formulación del problema, objetivo general y justificación así como las limitaciones.

El capítulo II: presenta una recopilación general de la información necesaria para el desarrollo de la investigación tales como: los antecedentes y teoría científica en base a ello se plantea las variables de la investigación.

El capítulo III: Se define la metodología de estudio, en tal sentido se menciona el tipo, método, diseño de investigación, la población, muestra, técnicas e instrumentos de investigación.

El capítulo IV: Se plantearon las alternativas de solución a ser consideradas como defensa ribereña para la zona de estudio y se define las soluciones de ingeniería a aplicarse para el caso del tramo en estudio Chayhuamayo – Shucusma en el sector crítico. La elección de la solución adecuada se basa en los estudios básicos definidos; este capítulo trata también de la discusión e interpretación de resultados logrados en la aplicación de la estrategia de estudio dirigido, así mismo se indica los resultados obtenidos en el laboratorio y sus análisis de sus resultados, prueba de hipótesis.

Las conclusiones, recomendaciones y anexos que hemos encontrado a través del estudio de investigación.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA:**

Las lluvias intensas de noviembre a marzo en la ceja de selva del Perú provocan cada cierto tiempo catástrofes en las cuencas desprotegidas, causando la erosión e inundación de los suelos con pérdidas de áreas de cultivos, vías de comunicación, estructuras (puentes, pontones, canales de riego, bocatomas entre otros). En algunos casos irrecuperables, introduciendo un impacto negativo en la vida del ser humano.

La ocurrencia de precipitaciones extraordinarias por perturbaciones climáticas, hacen que en el Distrito de Santo Domingo de Acobamba el cauce del río San Fernando aumente el volumen considerablemente, estos volúmenes “extras” generan desborde del río en las zonas agrícolas y erosión en las vías de comunicación tramo Chayhuamayo – Shucusma, en consecuencia de ello desastres ambientales como erosión de taludes y desborde de río.

El control de erosión en las riberas y desborde de río en el valle del río San Fernando no ha sido manejado en el pasado y en la actualidad, en consecuencia las áreas de cultivos, infraestructura vial (carretera) y el pontón Shucusma sufren el discurrir por la margen derecha del río San Fernando frente a las cada vez más frecuentes avenidas del río, que ocasiona cuantiosas pérdidas en la actividad económica, ambiental, la propiedad y grandes riesgos de pérdidas de vidas humanas.

Esto genera que se planteen construcciones que ayuden a encauzar el río cuando se presentan grandes avenidas, ya sea por derretimiento de los glaciares o por precipitaciones, que sirva de protección a las áreas aledañas o en las riberas del río.

El Distrito de Santo Domingo de Acobamba cuenta con tres valles: valle San Fernando, valle Pauran y valle Yunca siendo el valle San Fernando el beneficiado de la aplicación del estudio de sistema de prevención y control de erosión en la ribera del río San Fernando tramo Chayhuamayo – Shucusma, Huancayo-Junín este valle es netamente agricultor predominando los siguientes cultivos; maíz frijol, paltos, chirimoyas y caña de azúcar; y como actividad complementaria esta la pecuaria predominando en esta especies: vacuno y ovino.

La producción agropecuaria del área de influencia del proyecto en su mayor parte transporta para su comercialización con las provincias de Satipo y Huancayo, ante la ocurrencia de fenómenos naturales como precipitaciones pluviales altas en los meses de noviembre – marzo, que como consecuencia genera crecidas del río San Fernando, pérdidas de cultivos, obstrucción de las vías de comunicación, problemas en el abastecimiento de productos y en su comercialización, erosión del suelo produciendo el deterioro de la carretera de acceso. Así mismo, la circulación terrestre hacia el Distrito de Santo Domingo de Acobamba no ha logrado alcanzar un adecuado nivel de desarrollo, que nos permita realizar un tráfico a gran escala, económico y seguro; esta situación se comprueba al verificar las características de la carretera de penetración, la cual

se encuentra expuesta a continuos daños a la crecida del río San Fernando (Fuente. Municipalidad Distrital de Santo Domingo de Acobamba).

Las medidas de prevención y control de la erosión en las riberas de ríos facilitan sin lugar a dudas la ejecución de estructuras y obras que permiten la protección de las infraestructuras viales (carreteras, puentes, entre otras), las infraestructuras hidráulicas (tomas, boca de tomas, entre otras), centros poblados y del área de producción agrícola.

Por todas las razones antes mencionadas, en el presente trabajo, se pretende abordar la experiencia de aquellos aspectos básicos de diseño relacionados con las obras más usadas en la defensa y protección de las riberas de los ríos.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Formulación del Problema General:**

¿Qué tipo de sistema de prevención y control de erosión se debe de emplear para evitar el deterioro de las riberas del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo – Shucusma, Huancayo – Junín?

### **1.2.2 Formulación de Problemas Específicos:**

- a) ¿Cuál es el caudal máximo del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma?
- b) ¿Cuáles son las características mecánicas y físicas del suelo de la ribera del río San Fernando en el tramo crítico Chayhuamayo - Shucusma?
- c) ¿Cuál es la estimación de las velocidades de flujo y esfuerzo cortante del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma?

### **1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1 Objetivo General:**

Determinar qué tipo de sistema de prevención y control de erosión se debe emplear para evitar el deterioro de las riberas del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma, Huancayo – Junín.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos:**

- a) Determinar el caudal máximo del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma.
- b) Determinar las características mecánicas y físicas del suelo de la ribera del río San Fernando en el tramo crítico Chayhuamayo - Shucusma.
- c) Estimar las velocidades de flujo y esfuerzos cortantes del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma.

### **1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.4.1 SOCIAL O PRÁCTICA**

A partir de los resultados encontrados en el presente trabajo de investigación se pretende resolver problemas de inundación a zonas agrícolas y deterioro de la vía de comunicación de la carretera en el tramo Chayhuamayo – Shucusma expuestos al desborde e inundación por parte del flujo de agua cuando se presenten caudales extraordinarios. Por lo tanto, según lo descrito se justifica socialmente el aporte de este estudio a fin de evitar problemas futuros al entorno social y de salud de la población.

## **1.4.2 METODOLÓGICA**

La Metodología para la recopilación de la información y el procesamiento de los datos para la siguiente investigación son las siguientes: tablas, cuadros, libros y programas. Que posterior al estudio realizado se podrán utilizar como base de otros estudios de características similares.

## **1.5 LIMITACIONES**

### **1.5.1 TEMPORAL**

El período de tiempo de recolección de la información comprende un año y medio de duración, siendo este un impedimento para un buen tiempo previsto.

### **1.5.2 ESPACIAL**

El tramo en estudio de la ribera del río San Fernando está constituida de 600 metros en el tramo Chayhuamayo – Shucusma, Ubicada en el distrito de Santo Domingo de Acobamba provincia de Huancayo departamento de Junín, con ubicación geodésica: latitud Sur 11°46'07", Longitud Oeste 74°47'42".

### **1.5.3 ECONÓMICAS**

Por motivos económicos la investigación es no experimental, ya que no se llevará la ejecución del proyecto por parte del investigador, quedando el proyecto como propuesta.

### **1.5.4 TECNOLÓGICAS**

La información de registros hidrológicos es escasa en la zona de estudio, carece de tecnologías para el registro de caudales.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **2.1.1 ANTECEDENTES NACIONALES**

- a) Olivos. (2006), Sustento: "**ESTUDIO DE DEFENSAS RIBEREÑAS DEL TRAMO URBANO DEL RÍO TUMBES**", La presente tesis describe el comportamiento, características y problemática del río Tumbes, mostrando la información básica necesaria para desarrollar el estudio: hidrología, hidráulica, topografía, sedimentología, geología y geotecnia; la cual contempla todos los parámetros hidrológicos, sedimentológicos e hidráulicos que tienen influencia sobre en el funcionamiento de la estructura de protección. Muestra una metodología para diseñar un buen sistema de protección. Describe los sistemas de protecciones ribereñas más usados en el mundo.

- b) Cisneros. (2008), Sustento: **“ESTUDIO DE ENCAUZAMIENTO Y DISEÑO DE DEFENSAS RIBEREÑAS EN EL RÍO REQUE”**. Proponen que es conveniente el empleo de los métodos de Gumble y Log-Pearson III para determinar el caudal máximo promedio en la zona de Carhuaquero. De igual forma, el tipo de estructuras empleadas en el diseño del encauzamiento y defensa de márgenes han sido seleccionados en base a criterios técnicos y económicos, mediante el uso de espigones por las siguientes razones: a) Son más comunes ya que se trata de fijar las orillas al menor costo posible. b) Son construidos sobre todo en aquellos lugares donde por razones especiales no es posible el uso de diques continuos a lo largo de las márgenes. c) Por las condiciones desfavorables que presenta el material del cauce para el empleo de diques de tierra, ya que se trata de suelos arenosos
- c) Cueva. (2006), Sustento: **“DISEÑO DE ENCAUZAMIENTO Y DEFENSAS RIBEREÑAS EN EL RÍO MOTUPE-SECTOR PUEBLO JOVEN EL SALVADOR”**, proponen una estructura de encauzamiento y defensa de márgenes mediante espigones, teniendo en cuenta los aspectos técnicos económicos; empleando para su construcción roca de cantera y siendo 14 el número de espigones necesarios, de los cuales 12 son de formación y 2 de lanzamiento. Calcularon una descarga máxima instantánea de  $Q=1350\text{m}^3/\text{s}$ , pero debido a que el cauce del río Motupe no puede evacuar todo ese caudal, la Dirección Ejecutiva del Proyecto Olmos - Tinajones (Depolti) realiza trabajos para derivar el río Motupe por su cauce antiguo y evacuar un caudal de 800 a  $1000\text{m}^3/\text{s}$ . el caudal remanente ( $250 - 350\text{m}^3/\text{s}$ ) podrá ser evacuado por el cauce actual del río por lo que las defensas ribereñas de la ciudad de Jayanca fueron construidas con un caudal de  $350\text{m}^3/\text{s}$ .

- d) Torres. (2009), Sustento: **“USO DE GEOSINTÉTICOS EN DEFENSAS RIBEREÑAS DE LOS RÍOS DE SELVA BAJA”**, Propone la elección de una alternativa que mejor se ajuste a las características de la zona de estudio desarrollando los presupuestos referenciales de cada alternativa. Y concluye que las alternativas que generan menor presupuesto son las que usan recursos que se encuentran en la zona de estudio.
- e) Bustamante. (2011), Sustento **“ESTUDIO DE ENCAUZAMIENTO Y DEFENSAS RIBEREÑAS EN EL RÍO CHANCAY - LAMBAYEQUE SECTOR CENTRO POBLADO “RINCONAZO TUMAN”**. Perú 2011. El objetivo de la tesis es de establecer las defensas de protección adecuadas en las riberas de ambos márgenes del río evitando la erosión y destrucción de zonas agrícolas. Se tomó la información hidrométrica de la estación de aforos de la bocatoma Racarumi - Río Chancay. Se utilizaron los registros o datos históricos de descargas desde el año 1914 al año 2005 (92 años) y así determinar las curvas de frecuencia de descargas para hallar el período de retorno medio que transcurre entre dos avenidas.

### **2.1.2 ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

- a) Galaton. (2007), Sustento: **“DESCRIPCION DE LAS DEFENSAS RIBEREÑAS”** El Objetivo General es: Describir los tipos de defensas que se deben utilizar para proteger estructuras cercanas al río. El estudio concluye que en muchos casos las estructuras de defensas ribereñas son dimensionadas con una falla conceptual, ya que quedan expuestas a la acción de la velocidad del agua en su base, lo cual provoca socavamiento y erosión al pie de la obra. Una solución adoptada para evitar este problema es la plataforma de deformación, que es compuesta por gaviones tipo colchón, son elementos flexibles

posicionados en frente de la estructura, que al deformarse, acompañan la erosión del fondo, evitando así que esta alcance la base de la estructura y la desestabilice.

- b) Daniel. (2007), Sustento: **“EL CONCEPTO DE SEGURIDAD EN OBRAS DE DEFENSA CONTRA INUNDACIONES URBANAS”** Su trabajo tiene como finalidad señalar aspectos vinculados a las condiciones de seguridad relativa que imponen las obras de defensa contra inundaciones en áreas urbanas, tomando como ejemplo testigo los casos de las inundaciones sufridas en las ciudades de Santa Fe y Pergamino. El estudio concluye: Los procesos de inundación urbana, por desbordes de ríos y arroyos, son fenómenos netamente antrópicos y responden esencialmente a la progresiva ocupación de los valles de inundación de los ríos. La medida de protección dada por la reubicación de las viviendas en zonas sin riesgos de inundación resulta una acción, aunque lógica y natural, sumamente difícil de llevar a la práctica, principalmente en centros urbanos muy desarrollados. La construcción de terraplenes de defensa, presas de regulación y otras medidas estructurales cumplen, sin dudas, un rol importante en la reducción de algunos riesgos. Tienen un efecto inmediato y aumentan, en cierto sentido, el nivel de seguridad de la zona protegida.
- c) Baltazar. (2002), Sustento: **“DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN DEL RÍO COLINA Y ANÁLISIS DE SU ESTABILIDAD FRENTE A CRECIDAS PLUVIALES”** En la línea central de esta memoria, para hacer posible un diagnóstico a partir del cual se aborde una posterior etapa de diseño en ingeniería, se precisa atender los siguientes aspectos: Comprender la alteración que ha introducido la extracción de áridos en el cauce natural del Río Colina, en los tramos rural y urbano de la Comuna de Colina. Conocer el marco regulatorio nacional que rige la actividad, establecer las condiciones reales de cumplimiento y analizar sus debilidades. Desarrollar antecedentes

técnicos indispensables para establecer la vulnerabilidad del cauce en el tramo seleccionado. Y recomienda en su investigación. En cuanto a los resultados del análisis de la caracterización y modelación del tramo del Río Colina en estudio, se estableció una clara concordancia con la evidencia de terreno. Se recomienda la paralización de la actividad extractiva en el tramo Puente Esmeralda - Puente Colina. El tramo de aguas arriba es factible de explotar, dada la amplitud de los perfiles transversales. Se sugiere un encauzamiento del tramo.

- d) López. (2010), Sustento: **“DISEÑO Y ANÁLISIS DE ESTABILIDAD HIDRÁULICA DE TAPETES ARTICULADOS DE CONCRETO PARA PROTECCIÓN DE CAUCES”**. MÉXICO – 2010; Se abordó el problema del cambio climático que reflejan La cantidad disponible de agua presenta dos escenarios críticos: cuando se tiene en poca cantidad y, cuando se tiene más de la requerida. Esto último, aplicado a los ríos de nuestro país, se observa cuando se presentan avenidas extraordinarias con altas velocidades de flujo que provoca la falla de las márgenes de los ríos y, en consecuencia, se tienen inundaciones en las zonas y poblaciones cercanas a ellos; generando graves problemas de tipo social, económicos, de salud pública y alteración al medio ambiente. De ahí que su objetivo realizar una recopilación de las técnicas y estructuras de protección marginal en cauces; en especial el sistema con geotextiles y prefabricados. El desarrollo de este trabajo se realizó la implementación de sistemas de protección marginal, que eviten la erosión de los taludes de los ríos con el objetivo de contener el agua dentro del cauce, disminuyendo así el riesgo de inundaciones. Sin embargo, se considera que estos sistemas tienen una desventaja que es su alto costo y la mayoría de procedencia extranjera el estudio se dividió en seis series de ensayos: ensayos preliminares, ensayos de visualización del flujo y cuatro series de evaluación (tres series para la determinación de la fuerza de arrastre y una serie para la determinación de la velocidad de arrastre). De ahí

concluimos que una forma de evitar inundaciones por socavación en los ríos es implementando protecciones marginales. El tapete es una aportación tecnológica sustentable debido a que su diseño está basado en conocimientos técnicos, es económico en cuanto a su cimbra respecto a los recubrimientos actuales, es ecológico por reutilizar llantas de desecho para conformar un recubrimiento marginal; todo esto en beneficio de la población que habita zonas adyacentes a los ríos. Su aporte de este estudio es para desarrollar nuevas metodología en el diseño de protección de cauces teniendo como base los resultados obtenidos.

- e) Gualdrón. (2011), Sustento **“EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA PREVENCIÓN DE FUTURAS INUNDACIONES EN EL SECTOR DE SAN RAFAEL EN EL RÍO LEBRIJA”, BUCARAMANGA – 2011**. Donde aborda el problema de prevención de desastres, erosivos que van en aumento progresivo en la cuenca debido a la deforestación de extensas áreas de zona tropical y bosques, a los cambios climáticos, los períodos de lluvias son mucho más fuertes y los veranos más intensos, y a la construcción de algunas estructuras hidráulicas, como presas, que han aumentado la cantidad de sedimentos presentes en los ríos rompiendo el equilibrio en el transporte de los mismos en su afán de satisfacer algunas necesidades básicas de la población urbana. el objetivo de este trabajo es de mostrar la alternativa más viable para la prevención de futuras inundaciones en el sector utilizando estructuras de protección en los márgenes del río, basándose en la situación actual de la zona, el cual servirá de apoyo a la gobernación de Santander en el plan de prevención de desastres del departamento. Para esto se realizaron estudios geológicos, morfológicos, hidráulicos y estadísticos para obtener la información necesaria para el diseño de las estructuras a construir. Encontrando necesaria la construcción de espigones para la protección de la orilla, los cuales según estudios de esfuerzos

hidráulicos, y de un análisis de problemas erosivos, se recomienda que sean de tipo de enrocado artificial, recubiertos con geotextil en su base, con un base de espesor de 30 centímetros, y de altura variable según la sección del río en donde sean construidos. Estos se localizan y se diseñan en planta mediante un proceso gráfico, por tanto se necesita de una topografía bastante precisa y de tener clara la nueva que se quiere proyectar. De este trabajo concluimos que es recomendable la construcción de una muralla de 3 metros de alto de material muy bien compactado, recubierta con geotextil para evitar la filtración del agua a través de ella y debe ubicarse a más de 100 metros de la orilla para satisfacer todas las situaciones que se puedan presentar con el tiempo. El aporte de este estudio nos ayudara a mejorar las alternativas de protección de las orillas del río y una serie de recomendaciones de otras series de estructuras en lugares que se consideran igualmente críticos con el fin de lograr prevenir un desastre en un futuro.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

**2.2.1 LA EROSIÓN.** La erosión comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento. La erosión puede ser generada tanto por el agua como por el viento. Como una regla general las regiones con suelos muy erosionables, pendiente alta, clima seco y fuertes vientos pero con lluvias intensas ocasionales, sufren las mayores pérdidas por erosión. Las actividades humanas frecuentemente intensifican o aceleran las ratas erosión, especialmente por la deforestación o la remoción de la capa vegetal, así como por la concentración de la escorrentía en forma artificial. De los totales de erosión que se producen en el mundo cerca de 1/4 a 1/3 de los sedimentos se transportan hasta el mar y los demás

se depositan en los planos de inundación, los canales de los ríos, los lagos y los embalses.

La erosión es tal vez el factor más importante de contaminación del agua en cuanto a volúmenes de contaminantes se refiere. La erosión según Ayres. (2014), depende de cuatro variables principales:

$$E = f(R. G. S. V)$$

E = Rata de erosión

R = Factor que depende de la cantidad e intensidad de la lluvia

G = Factor que depende de la pendiente y topografía del terreno

S = Factor que depende de las propiedades físicas y químicas del suelo

V = Factor que depende de las características de la cobertura vegetal.

### **2.2.2 TIPOS DE EROSIÓN.-** Se conocen varios tipos de erosión así:

- Erosión por el viento.- El movimiento del viento ejerce fuerzas de fricción y levantamiento sobre las partículas de suelo, desprendiéndolas transportándolas y depositándolas.
- Erosión por gotas de lluvia.- Cuando las gotas de agua impactan el suelo desnudo pueden soltar y mover las partículas a distancias realmente sorprendentes.
- Erosión laminar.- Las corrientes superficiales de agua pueden producir el desprendimiento de las capas más superficiales de suelo en un sistema de erosión por capas que se profundizan.

- Erosión en surcos.- La concentración del flujo en pequeños canales o rugosidades hace que se profundicen estos pequeños canales formando una serie de surcos generalmente semiparalelos.
- Erosión por afloramiento de agua.- El agua subterránea al aflorar a la superficie puede desprender las partículas de suelos subsuperficial formando cárcavas o cavernas.
- Erosión interna.- El flujo de agua a través del suelo puede transportar partículas formando cavernas internas dentro de la tierra.
- Erosión en cárcavas.- Los surcos pueden profundizarse formando canales profundos o la concentración en un sitio determinado de una corriente de agua importante puede generar canales largos y profundos llamados cárcavas. Una vez se inicie la cárcava es muy difícil de suspender el proceso erosivo.
- Erosión en cauces de agua (erosión lateral y profundización).- La fuerza tractiva del agua en las corrientes y ríos produce ampliación lateral y profundización de los cauces y dinámica general de la corriente.
- Erosión por oleaje.- Las fuerzas de las olas al ascender y descender por una superficie de suelo producen el desprendimiento y el transporte de partículas.
- Erosión en masa (deslizamientos).- El término erosión o remoción en masa se relaciona a movimientos de masas importantes de suelo conocido con el nombre genérico de deslizamientos.

El tipo de erosión en estudio para el tema de investigación es:

### 2.2.3 EROSIÓN EN RÍOS Y CORRIENTES DE AGUA

Las corrientes de agua poseen un comportamiento complejo y sobretodo dinámico. El río es solamente una parte del sistema. La cuenca, la geología, el clima, la vegetación y otros factores influyen en forma determinante en su comportamiento. El sistema fluvial incluye unas zonas de producción de sedimentos, unas de transporte y finalmente unas de depositación. Si construimos una obra en un río estamos logrando algo “bueno” con un objetivo, pero al mismo tiempo podemos estar generando efectos negativos. Los efectos secundarios de las obras pueden traer resultados catastróficos. Se requiere entonces capacidad para predecir la dinámica del sistema. Para anticipar el conocimiento del comportamiento de la corriente se hace necesario determinar las características morfológicas de la corriente, su geología, sedimentos, hidrología e hidráulica.

#### **Características morfológicas del canal de una corriente**

Para el análisis hidrológico de un río o corriente se requiere conocer algunas características morfológicas principales, entre las cuales se pueden enunciar las siguientes:

- a) Longitud de canal.-** Esta distancia se mide a lo largo del canal principal de la corriente desde el punto analizado hasta la divisoria de aguas. En ocasiones se requiere cierto análisis subjetivo para determinar esta longitud, debido a que no siempre es claro cuál es el canal principal.
- b) Pendiente del canal.-** Se debe tener en cuenta la pendiente promedio y la variación de pendientes a lo largo del canal.
- c) Densidad de drenaje.-** Es una medida de la cantidad de corrientes dentro de la cuenca.

**d) Sección transversal.-** En esta sección transversal se deben definir una serie de parámetros adicionales tales como ancho, perímetro mojado, pendiente, etc., incluyendo no solamente el canal sino además el plano de inundación y laderas laterales.

**e) Forma en planta.-** La forma de la corriente incluye la sinuosidad y patrones de trenzas y meandros.

Para poder realizar un diseño de las obras de control de erosión en una corriente de agua o río, con criterios de sana ingeniería es necesario conocer a detalle el comportamiento de la corriente; para lo cual se requiere realizar un estudio detallado de la cuenca y de la corriente. Este estudio debe incluir todos los factores que en una u otra forma pueden tener efecto sobre el mecanismo de erosión. A continuación se presenta una tabla-guía de algunos de los diversos factores y variables a tener en cuenta en el estudio de la dinámica de una corriente. Tabla N°.01 Factores a tener en cuenta en el análisis de un río (modificado de Winkley)

Tabla N° 01. Factores a tener en cuenta en el análisis de un río  
(modificado de Winkley)

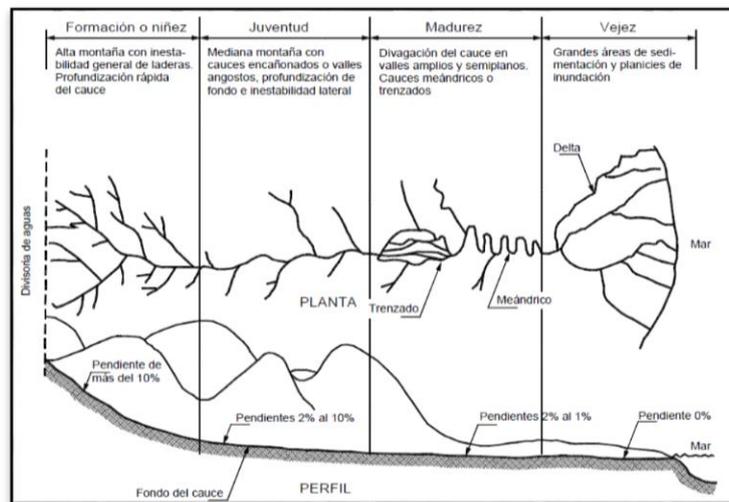
FACTOR	VARIABLE
TIEMPO	Historia geológica. Tiempo moderno. Tiempo reciente. Tiempo futuro de análisis
GEOLOGIA	Litología. Tectónica. Estructura. Geomorfología. Meteorización. Heterogeneidad geológica.
SUELOS	Tipo, gradación y peso específico. Distribución de los diferentes tipos de suelo en la cuenca, Composición química de las partículas, Cohesión y fricción, Resistencia a la alteración física y química. Grado de densificación. Permeabilidad – infiltración. Erosionabilidad
HIDROLOGIA	Lluvias anuales – mensuales – diarias – horarias. Intensidades máximas de aguaceros Magnitud – Intensidad y duración de las lluvias. Caudales. Tipo y forma de hidrograma
COBERTURA VEGETAL	Tipo de vegetación. % de cobertura vegetal y su distribución. Prácticas de cultivos. Modificaciones de la cobertura por acción antrópica.
TOPOGRAFIA	Topografía, pendiente, morfología de la cuenca. Perfil longitudinal del río Morfología en planta, tipo de río (semirecto, sinuoso, trezado, meándrico) Sinuosidad, radios de curvatura, ancho de divagación, distancia entre meandros Distancia entre barras o islas, alineamiento general, sección, forma, ancho, Profundidad, fondo, formas del fondo, forma de dunas o barras, rápidos y fosas
HIDRAULICA	Pendiente del flujo. Rugosidad del fondo del cauce. Velocidad. Distribución de velocidades. Radio hidráulico. Fuerza tractiva. Resistencia al flujo. Poder de la corriente
SEDIMENTOS	Disponibilidad y localización de sedimentos. Granulometría de la carga de fondo. Granulometría de partículas en suspensión. Velocidad de caída. Mecánica del transporte
ALTERACIONES DE ORIGEN ANTROPICO	Sitios, volúmenes y procedimientos de explotación de materiales en el cauce y riberas, Localización y características de estructuras en el río (puentes, etc.). Estructuras de orilla. Canales de riego. Presas. Localización de asentamientos humanos. Rectificación del cauce

Fuente: Jaime Suárez Días

## 2.2.4 ETAPAS DE LA CORRIENTE DE AGUA

A lo largo de una corriente de agua se presentan etapas fácilmente diferenciables y que se requiere identificar para poder evaluar su comportamiento erosivo. Adaptando las clasificaciones clásicas de morfología fluvial y para efectos de la interpretación de los fenómenos de erosión, se deben tomar en cuenta las siguientes etapas: Niñez - Juventud - Madurez y vejez.

Figura N° 01. Representación esquemática de las etapas de un río



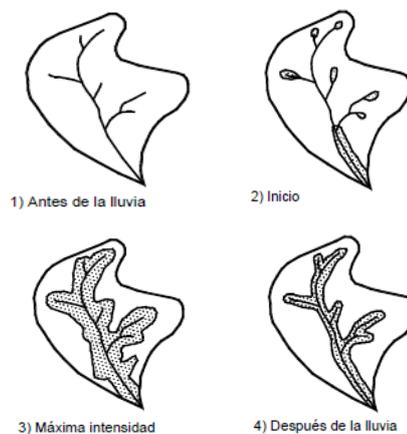
Fuente: Jaime Suárez Días

### 2.2.4.1 Etapa de formación o niñez

En zonas de alta montaña cada corriente posee una hoya o cuenca de drenaje en forma de embudo con laderas de pendiente muy alta (más del 6%). Esta cuenca en la cual se está formando la corriente principal de agua, está integrada por varias quebradas o pequeñas cuencas de flujo continuo o intermitente. Generalmente las corrientes generadoras de la corriente principal solo se forman durante las lluvias (Figura N° 02). En ésta etapa de la corriente se produce procesos de erosión

laminar, en surcos y en cárcavas. La mayor cantidad de sedimentos producto de la erosión proviene de ésta área. Las lluvias producen corrientes en los “cauces” y estos se profundizan a ratas importantes. La erosión a su vez produce inestabilidad general en las laderas<sup>2</sup>.

Figura N° 02. Formación de la corriente durante una lluvia (etapa de niñez).



Fuente: Jaime Suárez Días

Las talas de bosques y quemas aceleran los procesos de erosión presentándose casos de cárcavas de talud vertical. Los pequeños cauces son semi-rectos con cambios bruscos de pendiente y dirección, presentándose comúnmente, el caso del cauce en V con taludes laterales muy fuertes.

#### 2.2.4.2 Etapa de juventud

Una corriente de agua joven tiene como característica pendientes medianas y grandes velocidades del agua. El cauce en razón de la erosión de su fondo tiende a profundizarse en un proceso que se denomina «Corrasión». Si el agua transporta

partículas grandes tales como arena, gravas y cantos la abrasión del fondo del cauce es más rápida y se pueden desarrollar cañones o gargantas angostas de taludes semiverticales. En este tramo aparecen valles de gravas, arenas y cantos provenientes de la zona de formación o niñez. Al profundizarse el cauce, se producen deslizamientos y flujos laterales. Es común la presencia de coluviones que al socavarse en su pie se mueven, represando el río y produciendo posteriormente avalancha de lodo y detritos o turbiones a lo largo del cauce. El cauce se profundiza muy rápidamente por efectos de la erosión regresiva y ocurren fenómenos de inestabilidad lateral de las laderas por reptación, flujo y erosión. En la planta de la corriente se observa un curso en zig zag. Con el paso del tiempo geológico, el valle se va ampliando formándose una V ancha.

#### **2.2.4.3 Etapa de madurez**

En corrientes maduras la erosión de fondo del cauce durante una avenida es sólo momentánea pues al disminuir la velocidad del agua, recupera nuevamente los sedimentos, al contrario de las corrientes jóvenes que presentan un proceso acumulativo de erosión. Estos procesos repetitivos de socavación, transporte y resedimentación controlan en buena parte el comportamiento del río. La corriente trata de ampliar su cauce y la energía la utiliza en procesos de erosión lateral presentado divagación, trezamientos y desarrollando meandros. El proceso de formación y destrucción de meandros o el trezamiento es generalmente continuo, dentro de un ancho de divagación del río. Durante las avenidas los canales no son suficientes y el río se desborda buscando nuevos cauces o recobrando los antiguos (madres viejas), los cuales se profundizan de abajo hacia arriba. En ocasiones los desbordes encuentran un suelo con cobertura vegetal capaz de resistir las fuerzas erosivas. De todas formas

el proceso erosivo es irregular y de continuidad heterogénea y no se presenta el caso de que se genere un canal permanente.

#### **2.2.4.4 Etapa de vejez**

Cuando la corriente de agua va a entregar su caudal al mar, la pendiente del río es prácticamente cero y se forman deltas al dividirse en cauces menores. No hay erosión vertical pero se presenta un movimiento lateral de los cauces debido a los procesos de sedimentación e inundación. La sedimentación es mucho más importante que la erosión.

### **2.2.5 CUENCA HIDROLÓGICA**

La es un concepto geográfico e hidrográfico que se define como el área de la superficie terrestre por donde el agua de la lluvia escurre y transita o drena a través de una red corrientes que fluye hacia una superficie principal y por esta hacia un punto común de salida.

**2.2.5.1 ELEMENTOS DE UNA CUENCA.** En una cuenca se distinguen los siguientes elementos:

- **Divisoria de aguas.-** es una línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica.
- **El río principal.-** suelo ser definido como el curso de mayor caudal de agua o bien con mayor longitud o mayor área de drenaje.
- **Los afluentes.-** son ríos secundarios que desaguan en el río principal.
- **El relieve de la cuenca.-** consta de los valles principales y secundarios, con las formas de relieves mayores y menores y la

red fluvial que conforma una cuenca. Está formado por montañas y sus flancos; por las quebradas o torrentes, valles y mesetas.

#### **2.2.5.2 PARTES DE UNA CUENCA.** Una cuenca tiene tres partes:

- **Cuenca alta**, que corresponde a la zona donde nace un río, el cual se desplaza por una gran pendiente.
- **Cuenca media**, la parte de la cuenca en el cual hay un equilibrio entre el material sólido que llega traído por la corriente y el material que sale. Visiblemente no hay erosión.
- **Cuenca baja**, la parte de la cuenca en la cual el material extraído de la parte alta se deposita en lo que se llama cono de deyección.

#### **2.2.5.3 CLASIFICACIÓN:**

- **Cuenca grande:** es aquella cuenca en la que predomina las características fisiográficas de la misma (pendiente, elevación, área, cauce). Una cuenca, para fines prácticos, se considera grande, cuando el área es mayor de 250Km<sup>2</sup>.
- **Cuenca pequeña:** es aquella cuenca que responde a las lluvias de fuerte intensidad y pequeña duración, y en la cual las características físicas son más importantes que el cauce. Su área varía desde unas pocas hectáreas hasta un límite, que para propósitos prácticos, se considera 250Km<sup>2</sup>.

#### **2.2.5.4 CURVAS CARACTERISTICAS DE UNA CUENCA**

- **Curva hipsométrica.-** es la curva que puesta en coordenadas rectangulares, representa la relación entre la altitud, y la superficie de la cuenca que queda sobre esa altitud.

- **Curva de frecuencia de altitudes.**- es la representación gráfica, de la distribución de porcentaje, de las superficies ocupadas por diferentes altitudes. Es un complemento de la curva hipsométrica.

## 2.2.6 CAUDALES MÁXIMOS

Para diseñar:

- Las dimensiones de un cauce.
- Sistema de drenaje
- Muros de encauzamiento para proteger ciudades y plantaciones.
- Alcantarillas.
- Luz de puentes

Se debe calcular o estimar el caudal de diseño, que para esos casos, son los caudales máximos. La magnitud de caudal de diseño, es función del periodo de retorno que se asigne, el que a su vez depende de la importancia de la obra y de la vida útil de esta.

### 2.2.6.1 PERIODO DE RETORNO DE UNA AVENIDA

Para el caso de un caudal de diseño, periodo de retorno se define, como el intervalo de tiempo dentro del cual un evento de magnitud Q, puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio.

Si un evento igual o mayor a Q, ocurre una vez en T años, su probabilidad de ocurrencia P, es igual a 1 en T casos, es decir:

$$P = \frac{1}{T}$$

Donde:

P = Probabilidad de ocurrencia de un caudal Q.

T = Periodo de retorno.

La probabilidad de que el evento, ocurra al menos una vez en “n” años sucesivos, es conocida como riesgo o falla R, y se representa por:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{P}\right)^n$$

Con el parámetros riesgo es posible determinar cuáles son las implicaciones, de selección un periodo de retorno dado de un obra, que tiene una vida útil de “n” años.

## **2.2.7 METODOS PARA EL CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO**

### **2.2.7.1 MÉTODO DIRECTO**

Este es un método hidráulico, llamado sección y pendiente, en el cual el caudal máximo se estima después del paso de una avenida, con base en datos específicos obtenidos en campo. Los trabajos de campos incluyen:

- Selección de un tramo de río representativo, suficientemente profundo, que contenga el nivel de aguas máximas.
- Levantamiento de sección transversal en cada extremo del tramo elegido y determinar (área hidráulica, perímetro mojado, radio hidráulico, pendiente de la superficie del agua con las huellas de avenidas máximas en análisis)
- Elegir el coeficiente de rugosidad de Manning de acuerdo a las condiciones físicas del cauce.
- Aplicar la fórmula de Manning.

**2.2.7.2 MÉTODOS EMPIRICOS.-** existen una gran variedad de métodos empíricos, en general todos se derivan del método racional. Debido a su sencillez tiene una gran difusión pero

pueden involucrar grandes errores, ya que el proceso de escurrimiento, es muy complejo como para resumirlo en una fórmula de tipo directo, en a que solo interviene el área de una cuenca y un coeficiente de escurrimiento.

**a) Método racional.-** El Método Racional es uno de los más utilizados para la estimación del caudal máximo asociado a determinada lluvia de diseño. Se utiliza normalmente en el diseño de obras de drenaje urbano y rural. Y tiene la ventaja de no requerir de datos hidrométricos para la determinación de caudales máximos.

$$Q = \frac{C.I.A}{360}$$

Q = Caudal máximo (m<sup>3</sup>/s)

C = coeficiente de escorrentía

I = Intensidad de la lluvia de diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y con frecuencia igual al periodo de retorno seleccionado para el diseño (mm/h)

A = área de la cuenca (Ha)

### Coefficientes de escorrentías

Tabla N° 02. Coeficientes de escorrentía (Tipo de superficie)

Tipo de superficie	Coeficiente de escorrentía	
	Mínimo	Máximo
Zona comercial	0.70	0.95
Vecindarios, zonas de edificios, edificaciones densas	0.50	0.70
Zonas residenciales unifamiliares	0.30	0.50
Zonas residenciales multifamiliares espaciadas	0.40	0.60
Zonas residenciales multifamiliares densas	0.60	0.75
Zonas residenciales semiurbanas	0.25	0.40
Zonas industriales espaciadas	0.50	0.80
Zonas industriales densas	0.60	0.90

Parques	0.10	0.25
Zonas deportivas	0.20	0.35
Estaciones e infraestructuras viarias del ferrocarril	0.20	0.40
Zonas suburbanas	0.10	0.30
Calles asfaltadas	0.70	0.95
Calles hormigonadas	0.70	0.95
Calles adoquinadas	0.70	0.85
Aparcamientos	0.75	0.85
Techados	0.75	0.95
Praderas (suelo arenoso con pendiente inferior al 2%)	0.05	0.10
Praderas (suelo arenoso con pendiente intermedias)	0.10	0.15
Praderas (suelo arenoso con pendiente superior 7%)	0.15	0.20
Praderas (suelo arcilloso con pendiente inferior al 2%)	0.13	0.17
Praderas (suelo arcilloso con pendiente intermedias)	0.18	0.22
Praderas (suelo arcilloso con pendiente superior 7%)	0.25	0.35

Fuente: Aparicio (1999)

Tabla N° 03. Coeficientes de escorrentía (cobertura del suelo)

Cobertura del suelo	Tipo de suelo	Pendiente (%)				
		>50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.55	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierbas	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0.55	0.60	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Fuente: Benitez (1980)

Cuando la cuenca se compone de superficies de distintas características, el valor de "C" se obtiene como una media a ponderarse.

**Tiempo de concentración:** se denomina tiempo de concentración, al tiempo transcurrido desde que una gota de agua cae, en el punto más alejado de la cuenca hasta que llega a la salida de esta (estación de aforos). Este tiempo está en función de ciertas características geográficas y topografía de la cuenca. El tiempo de concentración debe incluir los escurrimientos sobre el terreno, canales, cunetas y los recorridos sobre la misma estructura que se diseña.

Todas aquellas características de la cuenca tributaria, tales como dimensiones, pendientes, vegetación y otras en menor grado, hacen variar el tiempo de concentración.

Existen varias formas para hallar el tiempo de concentración "Tc", de una cuenca.

### **Bransby-Williams**

$$Tc = \frac{L}{1.5D} \sqrt[5]{\frac{M^2}{F}}$$

Dónde:

Tc= tiempo de concentración (horas)

L= distancia máxima a la salida (km)

D= diámetro del círculo de área equivalente a la superficie de la cuenca (km<sup>2</sup>)

M= área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

F= pendiente media del cauce principal (%)

### **Kirpich**

$$Tc = 0.02L^{0.77}S^{-0.385}$$

Dónde:

Tc= tiempo de concentración (minutos)

L= longitud máxima a la salida (m)

S= pendiente media del lecho (m/m)

### **Ventura - Heras**

$$Tc = a \frac{S^{0.5}}{i}$$

Siendo  $0.05 \leq a \leq 0.5$

**Dónde:**

tc= tiempo de concentración (horas)

i= pendiente media del cauce principal (%)

S= área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

L= longitud del cauce principal (km)

a= alejamiento medio  $a = L/\sqrt{S}$

**b) Método de Mac Marh:** la fórmula de Mac Marh para el sistema métrico, es la siguiente:

$$Q = 0.0091CIA^{4/5}S^{1/5}$$

Donde:

Q = Caudal máximo con un periodo de retorno de T años (m<sup>3</sup>/s)

C = Factor de escorrentía de Mac Marh ( $C_1 + C_2 + C_3$ )

I = Intensidad máxima de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración Tc, y un periodo de retorno de T años, mm/hr

A = Área de la cuenca (Ha)

S = Pendiente promedio del cauce principal en %

Tabla N° 04. Factores de escorrentía de Mac Math

Vegetación		Suelo		Topografía	
Cobertura (%)	C <sub>1</sub>	Textura	C <sub>2</sub>	Pendiente (%)	C <sub>3</sub>
100	0.08	Arenoso	0.08	0.0 – 0.2	0.04
80 - 100	0.12	Ligera	0.12	0.2 – 0.5	0.06
50 - 80	0.16	Media	0.16	0.5 – 2.0	0.06
20 - 50	0.22	Fina	0.22	2.0 – 5.0	0.10
0 - 20	0.30	Rocosa	0.30	5.0 – 10.0	0.15

**2.7.7.3 MÉTODO ESTADÍSTICO.-** Los métodos estadísticos se basan en considerar que el caudal máximo anual, es una variable aleatoria que tiene una cierta distribución. Para utilizarlos se requiere tener como datos, el registro de caudales máximos anuales, cuanto mayor sea el tamaño del registro, mayor será el tamaño de la proximidad del cálculo del caudal de diseño, el cual se calculó para un determinado periodo de retorno.

Por lo general, en los proyectos donde se desea determinar el caudal de diseño, se cuenta con pocos años de registro, por lo que, la curva de distribución de probabilidades de los caudales máximos, se tiene que prolongar en su extremo, si se quiere inferir un caudal con un periodo de retorno mayor al tamaño del registro, el problema se origina en que existen muchos problemas de distribuciones que se apegan a los datos, y que sin embargo difieren en los extremos. Esto ha dado lugar a diversos métodos estadísticos, dependiendo del tipo de distribución que se considere. Dentro de los métodos estadísticos encontramos el método de Gumbel, Nash y Levediev.

Gumbel y Nash consideran una distribución de valores extremos, con la única diferencia, que el criterio de Nash es menos rígido que el de Gumbel, pues permite ajustar las distribución por mínimos cuadrados. Por otro lado Levediev considera una distribución tipo Pearson tipo III. En

forma práctica se recomienda escoger varias distribuciones y ver cual se ajusta mejor; esto requiere que tengan los datos necesarios para poder aplicar algunas pruebas estadísticas, como la prueba de bondad de ajuste.

## **2.2.8 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EROSIÓN DE LAS RIBERAS**

La magnitud y el tipo de erosión que se produce en un tramo de un cauce natural ésta definida por la características del cauce y las condiciones ambientales del lugar, las mismas que son únicas para cada tramo de río y para cada situación. Entre las características del cauce que más afectan a los procesos erosivos, se puede mencionar las siguientes:

### **2.2.8.1 Condiciones del flujo en el río**

El flujo en un río es el factor dominante en el proceso de erosión de las riberas del mismo, ya que aparte de ser un factor erosivo en sí mismo contribuye también en el mecanismo de transporte del material lejos del margen erosionado. La magnitud del caudal y la duración son también factores importantes. La magnitud del caudal del flujo es directamente proporcional a la magnitud de la erosión en los márgenes del cauce. Experiencias de campo realizadas por la Federal Highway Administration (USA) demuestran que entre un 90% y un 99% de los procesos erosivos en las riberas se producen en los eventos de avenidas. La influencia de la duración de una avenida sobre la estabilidad de las riberas del cauce puede ser incluso mayor que la magnitud de dicha avenida. El inicio de la erosión en las márgenes es similar al inicio de la misma en el lecho, es decir requiere más energía para vencer la resistencia creada por la vegetación y otras resistencias cohesivas, así como la propia resistencia estructural de las partículas del suelo. Una vez que la ribera queda expuesta, el proceso erosivo avanza mucho más

rápido y cuanto más tiempo dura la exposición del mismo al flujo de avenida mayor será el efecto de la erosión sobre el mismo. Muchas veces la fuerza erosiva de los ríos es tan grande que puede destruir estructuras como puentes.

#### **2.2.8.2 Características de los materiales de la ribera**

La resistencia a la erosión de los márgenes de un cauce está íntimamente relacionada con las características de los materiales que constituyen los mismos. Los materiales se pueden clasificar en: cohesivos, no cohesivos y estratificados.

#### **2.2.8.3 Vegetación existente en la ribera**

La estabilidad de las riberas está fuertemente influenciada por la vegetación natural existente en las mismas, debido principalmente a fuerza de fijación al suelo de las raíces. Esta fuerza contribuye a la cohesión entre partículas del suelo e influye en la resistencia del suelo, debido a la transferencia de tensiones entre el suelo y raíces, aumentando de esta forma la resistencia a la erosión de las riberas.

#### **2.2.8.4 Estabilidad del lecho**

La inestabilidad del lecho del cauce se manifiesta a lo largo de procesos de elevación y socavación del mismo. La socavación del lecho afecta indirectamente a la erosión de los márgenes, debido a la pérdida de soporte que esto significa para las mismas. Además, si el material del lecho es más resistente a la erosión que el material del margen la energía erosiva del río afecta más directamente a las riberas incrementándose los procesos erosivos en las mismas.

## **2.2.9 FACTORES GEOTÉCNICOS EN LA EROSIÓN DE LAS RIBERAS**

En este punto se presenta destacar los factores geotécnicos que más influencia tienen en la estabilidad de las riberas de un río, así como mostrar los tipos de fallos que más se producen en las mismas.

### **2.2.9.1 Características del suelo**

Los suelos de las riberas son los que van a requerir protección frente a la acción erosiva del río, en especial aquellos que no están constituidos por rocas duras a no ser que estas se encuentren alterada deterioradas por algún motivo, existen dos tipos básicos de suelos inorgánicos que se presentan con mayor frecuencia en las riberas, estos son: suelos cohesivos, formados por agregados de partículas finas y con formas planas originados a partir de la descomposición de rocas químicamente inestables, suelos granulares formado por partículas de forma regular y originado a partir del colapso físico de rocas relativamente estables. El diferente origen de estos tipos de suelos se refleja en sus propiedades como por ejemplo en un suelo granular la energía que predomina es la de su masa mientras que en los suelos cohesivos es la energía superficial de las partículas la responsable de sus características de cohesión, plasticidad y cambios volumétricos. Entre los muchos sistemas de clasificación de suelos existentes en la literatura geotécnica, uno de los más usados por su facilidad es el que utiliza el tamaño de partículas. Un ejemplo se puede ver en la cuadro N° 01 donde se presenta diferentes categorías de suelos, características de drenaje, y tamaños de partículas entre los que se establecen dichas categorías.

Cuadro N° 01. Clasificación de los suelos según el tamaño de las partículas

SUELO	TAMAÑO (mm)	CARACTERISTICAS DE DRENAJE
Arcilla	< 0,002	Impermeable (arcillas intactas) Muy pobre (arcillas alteradas)
Limo	0.002 – 0.06	Pobre
Arena	0.06 – 2.0	Considerable
Grava	2.0 – 60	Bueno
Adoquines	60 – 600	Bueno
Canto rodado	> 600	Bueno

Fuente: Control de erosión, Jaime Suárez.

### 2.2.9.2 Parámetros geotécnicos

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

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

Donde:

$$c' = c - u$$

$c'$  es la cohesión efectiva,  $c$  es la cohesión y la presión intersticial

$\sigma'_n$ : Tensión normal efectiva

$\phi'$ : Ángulo de rozamiento o fricción interna efectiva

En el caso de suelos no cohesivos, como arenas y gravas, la cohesión es cero. En los suelos cohesivos, la tensión de rotura depende normalmente de la cohesión y de la fricción interna, aunque puede darse a veces el caso de suelos arcillosos saturados por falta de tiempo para que se produzca el drenaje. El caso normal es que la estructura de los suelos que forman las riberas de un cauce pertenezca a una categoría intermedia entre los extremos anteriores, es decir un suelo cohesivo con fricción interna. Los parámetros  $c'$  y  $\phi'$  se obtienen normalmente mediante ensayos de laboratorio, aunque para realizar una estimación previa de estabilidad de los márgenes de un cauce se pueden formar valores medios que se pueden obtener en el cuadro N° 02.

Cuadro N° 02. Valores de la cohesión y el ángulo de rozamiento interno.

MATERIALES	COHESIÓN $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA $\phi$ (°)		
		REDONDEADO	REDONDEADO Y ANGULAR	ANGULAR
<b>ARCILLAS:</b>				
Muy Rígidas o Dura	> 150			
Rígida	100 - 150			
Firme a Rígida	75 - 100			
Firme	50 - 75			
Suave a Firme	40 - 50			
Suave	20 - 40			
Muy Suave	< 20			
Arena Limosa	--		24 - 34	
<b>SUELOS GRANULARES :</b>				
Tamaño de partícula (D <sub>50</sub> )				
< 1 mm		30	-33	33 - 35
1 - 10 mm		30 - 32	32 - 36	33 - 40
10 - 100 mm		32 - 37	33 - 40	-33

Fuente: Estabilidad y protección de cauces, José Gonzáles Ortega

### 2.2.9.3 Tipos de erosión en las riberas de los ríos.

La resistencia a la erosión de las riberas de un río está directamente relacionada con las características del material del

que están constituidos. Estos materiales se pueden clasificar en tres: cohesivos, no cohesivo y estratificados.

- **Riberas de material no cohesivo.** Las márgenes de los ríos compuestos por materiales no cohesivos son normalmente depósitos heterogéneos de arenas, limos y gravas. Es muy raro encontrar una ribera de un cauce natural sin cohesión, ya que normalmente existe un cierto grado de cohesividad debido bien a la presencia de limos o pequeñas fracciones arcillosas presentes en la mezcla, o bien por la existencia de vegetación, cuyas raíces aportan cohesión. Sin embargo cuando la estructura primaria del material que constituye la ribera está formada por partículas sueltas, este se considera no cohesivo.

La erosión en las riberas constituidas por este tipo de material puede ocurrir de dos formas:

Movimiento del material granular que forma la base del talud del margen, el cual depende del tamaño de la partícula, del ángulo del talud y de factores de carácter hidráulico como la velocidad del flujo y la turbulencia. El movimiento del material en esta forma causa erosión en la parte baja del talud provocando un deslizamiento del material de la parte alta del mismo para mantener un talud compatible con el ángulo de rozamiento interno del material que lo constituye. Deslizamiento superficial debido a la presión intersticial.

Figura N° 03 Tipos de erosión en riberas de material no cohesivo.



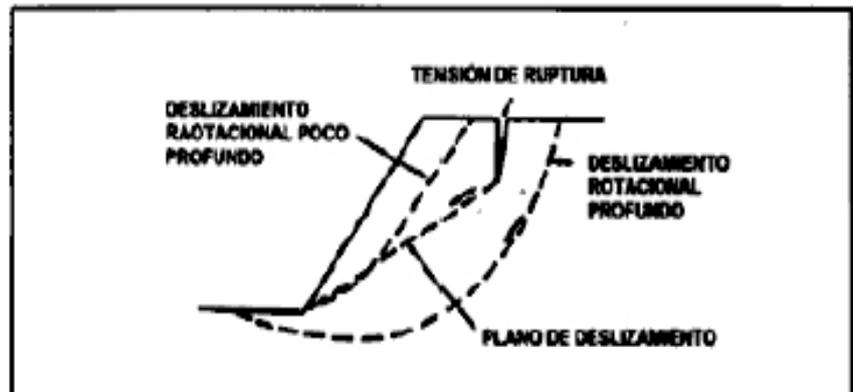
Fuente: Estabilización y protección de cauces, José Gonzales (2010)

- **Ribera de material cohesivo.** Las márgenes de los cauces compuestos por materiales cohesivos se caracterizan por tener una baja permeabilidad y una resistencia a la erosión superficial debido a las fuerzas de cohesión que presentan.

Las principales causas de erosión en este tipo de márgenes son la saturación y el drenaje. En suelos cohesivos con un drenaje deficiente la dificultad de disipar las presiones intersticiales provoca un aumento del peso específico del material y una reducción de la tensión interna. El fallo de un margen constituido por este tipo de terreno se produce normalmente por deslizamiento de masas de suelo a lo largo de la superficie de rodadura.

En este mecanismo de fallo tiene mucha importancia la altura de la ribera, debido a que está condiciona el peso del bloque deslizante. Este mecanismo de falla queda ilustrado en la Figura N° 04

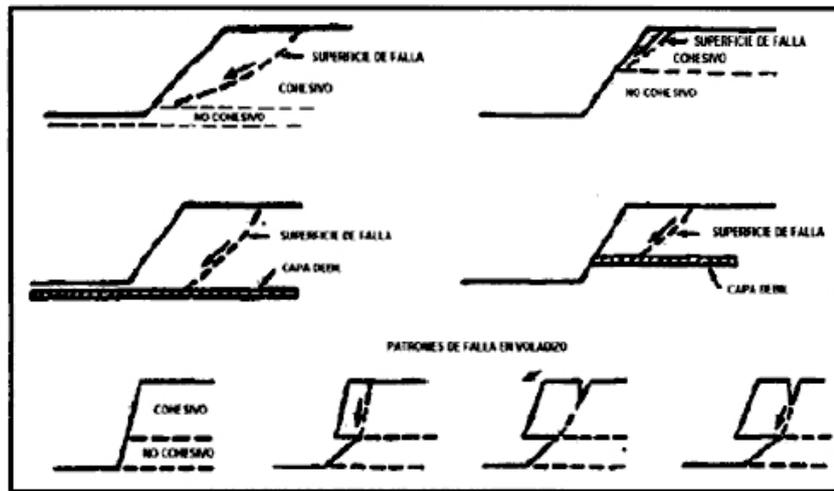
Figura N° 04 Tipos de erosión en riberas de material cohesivo.



Fuente: Estabilidad y protección de cauce, José Gonzales (2010)

**Riberas de material compuesto o estratificados.** Este tipo de márgenes es el más común en la naturaleza, a que son el producto de la deposición de sedimentos por el río en tiempos pasados. Están constituidos por capas de material con diferentes características en cuanto a tamaño, permeabilidad y cohesión. Esto hace que las capas de material no cohesivo, más sensible a la erosión superficial, puede ser parcialmente protegidas por las capas adyacentes constituidas por material cohesivo, haciéndolas más estables, y al mismo tiempo las no cohesivas pueden servir de ayuda al drenaje de las cohesivas en situaciones de saturación. Los mecanismos de falla mencionados se muestran en la Figura N° 05.

Figura N° 05. Mecanismo de falla de una ribera formado por material compuesto o estratificados.



Fuente: Estabilidad y protección de cauce, José Gonzales (2010).

### 2.2.10 CONCEPTO DE FUERZA TRACTIVA

Un criterio utilizado para calcular la fuerza que el agua en movimiento ejerce sobre las partículas de suelo es el de fuerza tractiva de una corriente  $\tau_o$ .

La fuerza tractiva es la fuerza de corte que ejerce el flujo sobre las partículas del cauce en un determinado punto.

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

Donde:

$\tau_o$  = Fuerza tractiva

$\rho$  = Densidad del agua

$v$  = Velocidad de la corriente en la superficie del cauce

$y$  = Altura de flujo

$i$  = Pendiente promedio

$g$  = Aceleración de la gravedad

### 2.2.11 ESFUERZO CRITICO PARA INICIACIÓN DE MOVIMIENTO

Así como el agua ejerce una fuerza tractiva sobre las los materiales de riberas de ríos a su vez este trata de resistir esa fuerza de corte. Los materiales de riberas de ríos tiene una tensión critica máxima  $(\gamma_0)_c$  resistencia máxima a la fuerza tractiva.

Existen una gran cantidad de expresiones matemáticas para calcular la resistencia de materiales de riberas de ríos a la fuerza tractiva y ninguna de ellas tiene una aceptación universal.

#### Criterio de Shields

Shields a su vez obtiene la siguiente expresión para flujo turbulento:

$$(\gamma_0)_c = 0.06\gamma_S \cdot d$$

Tabla N° 05. Esfuerzo crítico para iniciación de movimiento para diámetros encontrados en riberas de ríos

DIAMETRO ENCONTRADO (d)	ESFUERZO DE CORTE CRITICO DE INICIACIÓN MOVIMIENTO $(\gamma_0)_c$
0.10m	99N/m <sup>2</sup>
0.15m	148.5N/m <sup>2</sup>
0.20m	198N/m <sup>2</sup>
0.25m	247.5N/m <sup>2</sup>
0.50m	495N/m <sup>2</sup>

Fuente: Ing. Erasmo Mattos Espinoza “Construcción defensa ribereña”

### 2.2.12 HIDRAULICA DE RÍOS

La hidráulica incluye el modelamiento matemático del flujo de agua. Las ecuaciones básicas utilizadas para simular los procesos fluviales son:

- a) Ecuación de continuidad de agua

- b) Ecuación de continuidad de sedimentos
- c) Ecuación de momentum de flujo
- d) Ecuación de transporte de sedimentos.

### **2.2.13 CALCULO DE LA SOCAVACIÓN.**

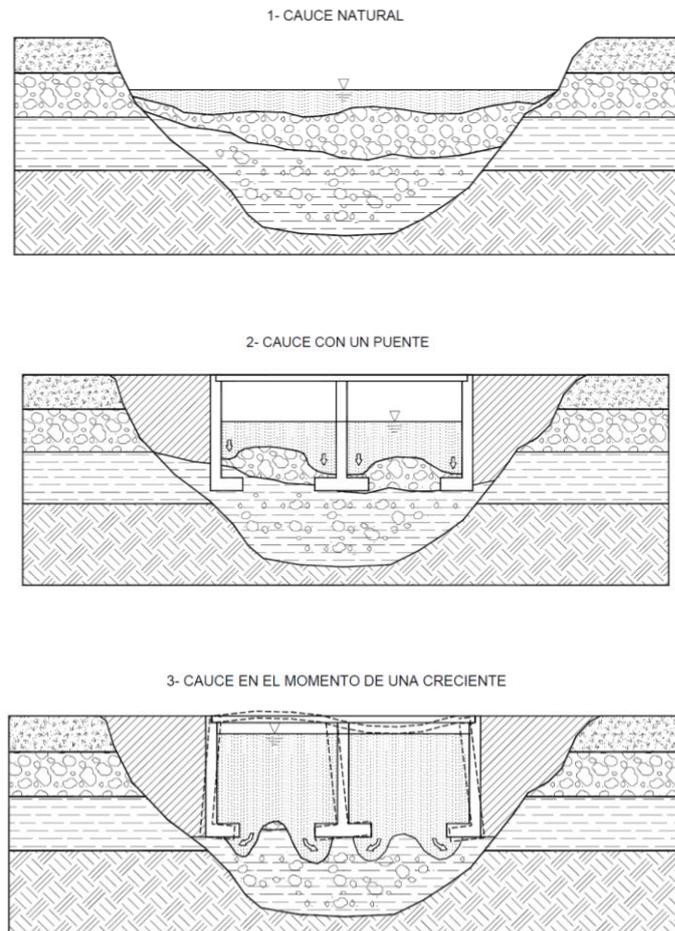
La socavación consiste en la profundización del nivel del fondo del cauce de una corriente causada por el aumento del nivel de agua en las avenidas, modificaciones en la morfología del cauce o por la construcción de estructuras en el cauce como puentes, espigones, etc. La socavación comprende el levantamiento y transporte de los materiales del lecho del río en el momento de una avenida o creciente, o por la construcción de una obra dentro del cauce. Debe diferenciarse la socavación de la erosión no recuperable en el sentido de que después de que pase la avenida o se elimine la causa de la socavación en procesos posteriores, comúnmente se vuelven a depositar sedimentos en un proceso cíclico, y se puede recuperar el nivel del fondo del cauce. La socavación está controlada por las características hidráulicas del cauce, las propiedades de los sedimentos del fondo y la forma y localización de los elementos que la inducen.

La socavación se la relaciona con las fallas de las cimentaciones de puentes en todo el mundo, algunas de ellas catastróficas y con pérdidas de vidas humanas. Los puentes y otras estructuras representan una contracción del ancho del cauce y al presentarse un aumento en los caudales de la corriente, el aumento de la velocidad y la turbulencia en la contracción pueden generar niveles de socavación de varios metros. La mayoría de las fallas de puentes en el mundo es debida a la socavación (Richardson, 1999). El problema es tan delicado que la FHWA (1998) recomienda diseñar los puentes contra socavación para una inundación con período de retorno de 500 años, y en los Estados Unidos se realiza la inspección de puentes contra socavación cada dos años. La instrumentación de las pilas de los puentes como medida de

control, es ya un proceso común en el manejo de puentes en los países desarrollados.

Sin embargo el estudio de la socavación es realmente nuevo y se inició con las investigaciones de E.M. Laursen en 1949, pero los procedimientos de diseños de estructuras contra socavación no se iniciaron hasta 1960 y fue hasta 1998 cuando se especificaron procedimientos unificados para el cálculo de socavación en los diseños de puentes por parte de la FHWA en los Estados Unidos.

Figura N° 06. Esquema general de un proceso de socavación por la construcción de un puente,



Fuente. Control de erosión, Jaime Suárez.

## 2.2.14 FUNDAMENTOS DE LA SOCAVACIÓN

### 2.2.14.1 Componentes de la Socavación

Al evaluar la socavación en el sitio de un puente se deben tener en cuenta seis componentes:

#### a) Socavación no recuperable

La degradación no recuperable en ocasiones es ignorada en los cálculos de socavación porque los ajustes del fondo del canal a lo largo de todo su sistema no son detectados o se asume que son insignificantes. Sin embargo, el conocimiento de esta degradación puede permitir detectar grandes profundizaciones del cauce durante la vida útil de una estructura. Los ríos y corrientes son detalles dinámicos del paisaje que se ajustan naturalmente al alterarse sus condiciones ambientales.

Análisis de la socavación no recuperable la evaluación de la erosión a largo plazo requiere del análisis de los cambios tanto naturales como inducidos por el hombre, incluyendo los siguientes:

- Alteraciones del canal de la corriente por dragado, canalización, y otras.
- Minería de arena y grava en la corriente, la cual genera un desequilibrio de sedimentos.
- Construcción de represas que cambian las características del flujo y retienen el suministro de sedimentos.
- Cambios en el uso del suelo como quemas, sobrepastoreo y urbanización.
- Cambios naturales por sismos, actividades volcánicas, cambios climáticos, deslizamientos de tierra, etc.

## **b) Socavación por aumento del caudal**

Al aumentar el caudal la velocidad aumenta y se produce erosión en el fondo de la corriente. Al bajar nuevamente el nivel de la corriente, comúnmente esta socavación se recupera nuevamente por sedimentación. La socavación ocurre en períodos de horas o días, afectando prácticamente todo el cauce. Al pasar la avenida nuevamente se produce sedimentación y generalmente el cauce recupera, al menos parcialmente, el material socavado durante el paso de la creciente.

## **c) Socavación por contracción del cauce**

La construcción de un puente puede disminuir el ancho del cauce para el paso de grandes caudales y al presentarse los caudales, se produce un aumento extraordinario de las velocidades en la contracción, produciéndose socavación del fondo del cauce en el sector contraído.

La socavación por contracción del cauce puede ser muy grande. Richardson y Lagasse (1999) describen casos de socavación de más de seis metros en la contracción de un puente durante avenidas de corta duración. Existen ecuaciones y modelos de computador que permiten calcular la socavación en las contracciones de los puentes con bastante precisión. Algunos de los programas utilizados para calcular la socavación en contracciones de puentes son: WSPRO, HEC-RAS, BRI-STARS, UNET, FESWMS y RMA-2V.

#### **d) Socavación local en los estribos**

Junto a los estribos del puente se genera turbulencia, la cual produce erosión adicional y disminuye localmente el nivel del fondo del cauce junto al estribo. Los vórtices junto a los estribos forman fosas profundas de erosión especialmente en los extremos del estribo junto al sitio de estrechamiento del cauce.

Esta socavación debe adicionarse a la profundidad de socavación producto de la contracción de la sección del cauce.

#### **e) Socavación local en las pilas**

En las pilas dentro del cauce se producen remolinos de turbulencia, los cuales hacen que el nivel del río descienda especialmente junto a estas estructuras. Alrededor de las pilas se forma una fosa profunda por socavación, producida por un sistema de vórtices generados por la interferencia que la pila causa al flujo.

### **2.2.15 SISTEMA DE CONTROL DE LA SOCAVACIÓN.**

La socavación puede controlarse de varias formas así:

- a) Construcción de estructuras para manejar el flujo, disminuir la profundidad de socavación, tales como estructuras de caída para proteger el fondo aguas abajo de la estructura o revestimientos de la zona expuesta a socavación. Unas de las estructuras más populares son las estructuras guía para la protección de estribos de puentes.

b) Recubrimiento del cauce; El enrocado es el método más común y mejor documentado para el control de socavación en pilas de puentes. Las alternativas de enrocado varían en cuanto al tamaño, forma y masa, como también en su flexibilidad del diseño. La profundidad de socavación puede reducirse colocando enrocado alrededor de la pila, en un ancho de ocho veces el ancho de la pila (Ruff y Nickelson, 1993).

Otros sistemas alternativos incluyen los tetrápodos, hexápodos, gaviones, bolsacreto, adoquines unidos por cables y estructuras ancladas.

c) Construcción de cimentaciones profundas muy por debajo del nivel de socavación esperada.

La mayoría de los estudios realizados sobre los métodos para el control de la socavación se refieren a la protección de los puentes, sin embargo los mismos sistemas se han utilizado para la protección de cruces de oleoductos y similares.

d) Construcción de estructuras flexibles que se adapten a la socavación. Un ejemplo son las estructuras en gaviones o en enrocado.

#### **2.2.16 MÉTODOS DE PROTECCIÓN DE RIBERAS**

Los métodos de protección de las riberas de los ríos se basan en dos alternativas o filosofías distintas JAIME SUÁREZ (2001), estos son:

- a) La interposición de un elemento que evite la erosión entre la orilla y la corriente de agua.
- b) La disminución de la capacidad erosiva de la corriente de agua.

Hay que mencionar también la función de sujeción que la vegetación ejerce sobre los márgenes del río. Dentro de la primera alternativa se encuentra las denominadas estructuras de protección de margen, las cuales se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- Revestimiento de margen
- Pantallas

La segunda alternativa incluye los llamados elementos de control de movimiento dentro de los cuales estarían las siguientes medidas.

- Espigones
- Estructuras de retardo
- Diques longitudinales

#### **2.2.16.1 Estructuras de protección de riberas**

##### **a) Revestimiento.**

Son elementos que se interponen entre la ribera del cauce y la corriente de agua con el objetivo de evitar la erosión de este, por lo que deben ser realizados con materiales resistentes a la fuerza erosiva de la corriente. Se distinguen del resto de medidas de protección en que estos deben ser soportados totalmente por el margen. Se pueden clasificar

- **Rígidos.** Son aquellos que no se adaptan a las irregularidades o cambios de forma del margen por lo que son susceptibles de fallo si se quedan sin soporte. Los más utilizados en función del material empleado son: revestimiento de hormigón o asfalto, mantas rellenas de hormigón, sacos de arena o cemento, geobolsas, revestimiento con concreto ciclópeo.

- **Flexibles.** Estos se adaptan a las irregularidades o cambios de forma del terreno sobre el que apoyan, causadas principalmente por subsidencia o erosión, sin sufrir daños importantes. Los más utilizados en función del material empleado son: enrocados, gaviones, colchones de neumáticos, bloques de hormigón prefabricados, vegetación, entre otros.
- **Pantallas.** Son estructuras verticales o cuasi-verticales que son capaces de resistir el empuje de un terraplén o dique. Son elementos muy caros por lo que su uso se reduce normalmente a casos puntuales donde el valor de los bienes a proteger justifica económicamente su empleo. Normalmente se colocan en parte de aguas bajas en combinación con otro tipo de revestimiento a disponer en la zona de aguas altas los tipos más usuales de pantallas son: muros de hormigón, tablestacas metálicas, tablestacas de madera, jaulas de madera, gaviones, neumáticos apilados.

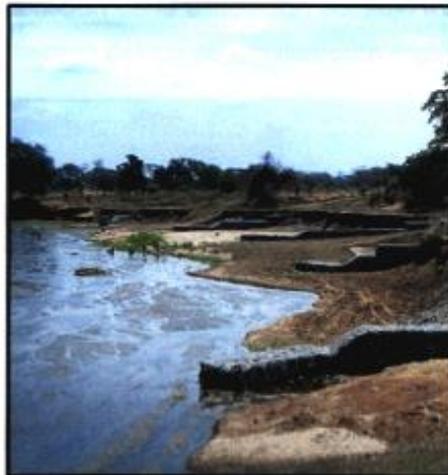
#### **2.2.16.2 Elementos de control de movimiento**

##### **a) Espigones**

Los espigones son estructuras lineales, permeables o impermeables, colocadas en dirección ligeramente transversal al cauce, ver figura N° 07 los cuales controlan el movimiento del agua en la proximidad de la ribera alterando la dirección del flujo, y así reduciendo la velocidad y por tanto la erosión, además esto induce la sedimentación. Según el tipo de material de que están formados los espigones se pueden clasificar en: permeables e impermeables. Según la modificación que estos producen sobre la corriente de agua,

pueden ser: estructuras de retardo de flujo, estructuras de desvío-retardo y estructuras de desvío; siendo las dos primeras estructuras permeables y el último estructura impermeable. Los espigones denominados de retardo se diseñan para reducir la velocidad del flujo en las proximidades de la orilla, como medida de protección de la misma. En el caso de los espigones de desvío-retardo también se produce una disminución de velocidad en las proximidades de la orilla, pero debido a la orientación de estos se produce además un efecto de desvío de la corriente. Alejándola de la orilla a proteger. Los espigones de desvío funcionan únicamente desviando corriente, por lo que resulta muy importante que sean impermeables.

Figura: N° 07. Espigones construidos con gaviones



Fuente: <http://es.wikiped.org/wiki>.

#### **b) Estructuras de retardo**

Son estructuras permeables para la protección de riberas las cuales se diseñan en función de la velocidad de la corriente para inducir procesos de sedimentación o acumulación de material en la ribera a proteger. Normalmente se disponen en sentido paralelo al pie del talud mediante la disminución de

la velocidad de la corriente. La sedimentación del material se produce después invierte la tendencia erosiva y reemplaza el material arrastrado, provocando también un desplazamiento de la fuerza erosiva de la corriente lejos de la margen a proteger. Las estructuras de retardo que más se utilizan son:

- Tetraedros metálicos
- Cercas de madera.
- Cercas de alambre
- Pilotes de madera

### **c) Diques longitudinales**

Los diques longitudinales son barreras construidas paralelamente a la línea del margen o a la línea de flujo que se desea conseguir, ver Figura N° 08 pueden ser en algunos casos impermeables y su objetivo es la protección de la margen mediante la disminución de la velocidad de la corriente en las proximidades del mismo, o bien la recuperación de la alineación del flujo mediante la restauración o el recrecimiento del margen del cauce previamente erosionado.

Figura N° 08 Dique longitudinales construido con roca.



Fuente: <http://es.wikipeda.org/wiki>.

## 2.2.17 TIPOS DE DEFENSAS RIBEREÑAS

**2.2.17.1 Defensas rústicas.-** Son defensas construidas con material de la zona y generalmente en casos de emergencias.

**a) Bolsa de malla de alambre con rocas.**

Son obras construidas con alambre galvanizado N° 8 en forma de mallas de variadas dimensiones como de 2"x4", 2"x6", 3"x10", de 1.00 a 1.50 m. de altura, los cuales son rellenos con rocas de canto rodado de diámetros que varían de 10" a 14" adoptando generalmente la forma trapezoidal, colocadas paralelamente entre si y formando un ángulo de 30° a 45° con respecto al margen. Su peso varía entre 1.2 y 2 ton.

**b) Mancarrones.**

En su construcción se utilizan palos, rocas y alambres. Los palos a usarse son sauce o huarango que tienen de 8" a 10" de diámetro, rocas de canto rodado y alambre N° 8. Lo forman tres palos abiertos amarrados con alambre y con mallas de alambre que se rellena con rocas cerca de su base de fundación, bajando al centro de gravedad y dándole estabilidad a la estructura. Su forma es la de un trípode.

**2.2.17.2 Defensas planificadas.-** Son aquellas que se construyen en base a planificación o diseño, su duración e prolongada actúa con mayor eficiencia.

**a) Muro de concreto:** Pueden ser de concreto armado o concreto ciclópeo. Los muros de concreto armado se construyen con reforzamiento de fierro de 1/2", 3/8" y amarre de 1/4". Se emplea generalmente en puentes, zonas urbanas, etc.

Los muros de concreto ciclópeo se construyen con dosificaciones de 1:3:6 y 30% de roca grande con dimensiones de 0.50 a 1.00 m. en su base mayor, y de 0.30 a 0.70 m. en su base menor, con una altura 1.80 a 3.00 m. Su costo es alto y su diseño debe ser cuidadoso.

**b) Muro de material de lecho de río.-** Construido con material extraído del lecho del río, sus dimensiones varían de 10.00 a 14.00 m. en su base mayor, de 3.00 a 4.00m. en su base menor (corona) y de 3.50 a 4.50m. de altura. Son obras costosas.

**c) Muro de material de río enchapado con roca.-** Es un muro con material del lecho del río, reforzado con roca pesada de cantera en su talud mojado (interior). Este tipo de defensa también puede llevar en su conformación material de afirmado, el cual le da mayor consistencia y están protegidos para la socavación al pie del talud interior y a una profundidad aproximada hasta 2.00m. de una base de roca pesada comúnmente llamada uña. De igual forma son obras costosas.

**d) Enrocado pesado.-** Son obras construidas con roca pesada de cantera de buena calidad, las rocas están entre diámetros de 0.70 a 1.20m. y con un peso de hasta de 2.50ton/m<sup>3</sup>. Generalmente su forma es trapezoidal.

### **2.2.18 CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE DEFENSAS RIBEREÑAS**

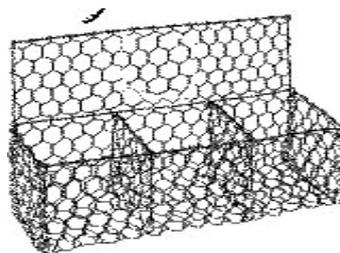
Las defensas ribereñas son estructuras que se colocan en las márgenes de los ríos para evitar desbordamientos. Estas obras se pueden clasificar según el sitio donde se van a construir ya sean en zonas rurales o en zonas urbanas. Entre los tipos de obras que se han seleccionado, se tienen los de tipo flexible y los de tipo rígido.

**2.2.18.1 Obras de tipo flexible.-** Cuando los suelos ofrecen importante deformaciones.

**Muro de gaviones.-** Son paralelepípedos rectangulares contruidos a base de un tejido de alambre de acero, el cual lleva tratamientos especiales de protección como la galvanización y la plastificación. Se colocan a pie de obra desarmados y luego es relleno de roca de canto rodado o roca chancada con determinado tamaño y peso específico, este material permite emplear sistemas constructivos sencillos, flexibles, versátiles, económicos y que puedan integrarse al paisaje circundante. Los muros en gaviones representan una solución extremadamente válida desde el punto de vista técnico para construir muros de contención en cualquier ambiente, clima y estación. Tales estructuras son eficientes, no necesitando mano de obra especializada o medios mecánicos particulares, a menudo las rocas para el relleno se encuentran en las cercanías. Tienen la ventaja de tolerar grandes deformaciones sin perder resistencia. Y se tiene los siguientes tipos de gaviones.

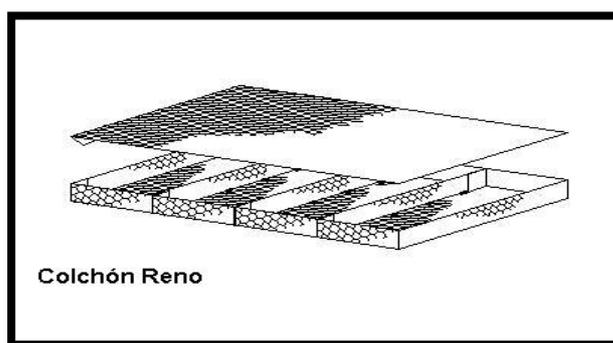
- a) **Tipo caja.-** Son paralelepípedos regulares de dimensiones variadas pero con alturas de 1.0m a 0.50m; conformados por una malla metálica tejida a doble torsión para ser rellenos en obra con rocas de dureza y peso apropiado, como se muestra en la Figura. N° 09

Figura. N° 09 Gavión tipo cajón



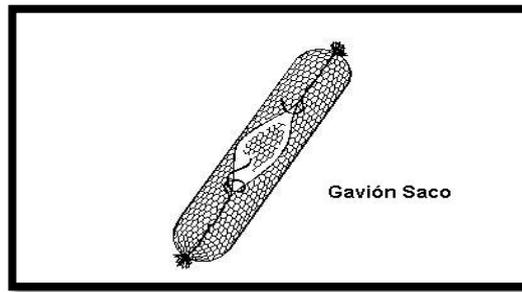
b) **Gavión tipo colchón.-** Son aquellos cuya altura fluctúa entre 0,17m - 0,30m y de áreas variables. Son construidos en forma aplanada para ser utilizados como revestimiento anti erosivo, anti socavante para uso hidráulico y como base-zócalo (Mejorador de capacidad portante) en la conformación de muros y taludes. Debido a que los colchones están generalmente ubicados en contacto con el agua, con sólidos que arrastran los ríos y sedimentos en general, estos deben tener características tales que les permitan resistir las exigencias físicas y mecánicas como son el impacto, la tracción y la abrasión. Ver Figura N° 10

Figura N° 10 Gavión tipo colchón



c) **Gavión tipo saco.-** Son generalmente de forma cilíndrica siendo sus dimensiones variables ya que se conforman para obras de emergencia o de aplicación en lugares de difícil acceso. Se arman generalmente fuera de la obra y se deposita en su lugar mediante el uso de maquinaria de izaje. A través de los bordes libres se inserta en las mallas un alambre más grueso para reforzar las extremidades y permitir el ensamblaje del elemento. Ver Figura N° 11.

Figura N° 11. Gavión tipo saco



### 2.2.18.2 Obras de tipo rígido

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

## 2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES.

**Hidrología:** Ciencia geográfica que se dedica al estudio de la distribución, espacial y temporal, y las propiedades del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares.

**El diseño de obras hidráulicas:** Se define para efectuar estos estudios se utilizan frecuentemente modelos matemáticos que representan el comportamiento de toda la cuenca en estudio. El correcto conocimiento del comportamiento hidrológico de un río, arroyo, o de un lago es fundamental para poder establecer las áreas vulnerables a los eventos hidrometeorológicos extremos; así como para prever un correcto diseño de obras de infraestructura vial.

**Hidráulica:** Rama de la física y la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los fluidos. Todo esto depende de las fuerzas que se interponen con la masa (fuerza) y empuje de la misma. El primer factor a considerar se refiere al tamaño de la cuenca como factor hidrológico, donde

el caudal aportado estará en función a las condiciones climáticas, fisiográficas, topográficas, tipo de cobertura vegetal, tipo de manejo de suelo y capacidad de almacenamiento. Los factores geológicos e hidrogeológicos que influyen en el diseño se refieren a la presencia de aguas subterráneas, naturaleza y condiciones de las rocas permeables y de los suelos: su homogeneidad, estratificación, conductividad hidráulica, compresibilidad, etc.

**Protección de orillas:** La protección de orillas son obras de ingeniería dirigidas a proteger los taludes de las orillas y los diques construidos sobre las márgenes de la sección de la corriente.

**Revestimientos de orillas:** Son un tipo de protección de orillas que cubre en forma continua con materiales resistentes a la erosión, los taludes de las orillas y/o de los diques incluyendo la parte que queda expuesta por efectos de la socavación.

**Muro de protección:** Es un tipo de protección de orilla en base a muros verticales de contención de tierras, que se utiliza para evitar el deslizamiento de taludes o cuando el espacio es limitado.

**Encauzamiento de un río:** Consiste de un grupo de obras de ingeniería con diques o sin ellos, incluyendo plantaciones artificiales, construido dentro del cauce con el fin de dirigir o conducir el flujo por un curso predeterminado

**Obra permeable:** Es una estructura de encauzamiento discontinua a base de pilotes, conjunto de pilotes u otros elementos separados entre sí, que producen sedimentación por reducción de la velocidad.

**Obra sólida (o impermeable):** Es una estructura de encauzamiento continua a base de enrocado, bolsas llenas de concreto u otros materiales que le dan una apariencia maciza aunque permite el paso del agua; por lo tanto no es impermeable. Debido a su solidez desvía el flujo en la dirección deseada.

**Bolsacretos:** Son sacos de fibra de polipropileno o geotextil rellenos con mortero, concreto o suelo - cemento; el tamaño de los mismos depende de los requerimientos de cada proyecto en particular. Con estos elementos por

superposición se construyen espigones, muros, presas y recubrimientos superficiales.

**Hexápodos:** Son cubos de concreto que pueden tener diferentes formas pero siempre manteniendo sus seis caras o lados. Superpuestos entre sí forman los denominados espigones o espolones.

**Thalweg:** El Thalweg es la línea central de la corriente en la cual el cauce es más profundo y el flujo posee una mayor velocidad. Todas las corrientes naturales poseen un Thalweg. El Thalweg generalmente tiene una tendencia a divagar de un lado al otro del cauce y trata de tomar la línea exterior del cauce en las curvas.

**Sinuosidad:** La sinuosidad es la relación entre la longitud total del Thalweg en el tramo de corriente y la longitud en línea recta. Un cauce se considera semirrecto cuando la sinuosidad es menor de 1.1 y se considera meándrico cuando la sinuosidad es mayor de 1.5. Cuando la sinuosidad se encuentra entre 1.1 y 1.5 se dice que el río es sinuoso, aunque algunos autores (Brice, 1983) consideran que un río es meándrico cuando la sinuosidad es mayor de 1.25.

**Barras:** Las barras son depósitos de sedimentos junto a la orilla o dentro del cauce del río. El ancho de la barra tiende a aumentar a medida que aumenta la rata de erosión en la orilla opuesta, tratando de formarse una curva, la cual al aumentar de tamaño puede convertirse en un meandro.

**Sistema de prevención y control:** Consisten en estructuras diseñadas sobre la base de los principios de la ingeniería.

**Erosión:** La erosión es el fenómeno que comprende el desprendimiento y traslado o arrastre de las partículas de suelo por la acción del agua, del viento o de la actividad biológica en general.

**Ribera de río:** Es el borde de un cuerpo de agua que puede ser grande, como la orilla del mar, o pequeña, como en el caso de los ríos. El término hace referencia a la zona de tierra más cercana al océano, mar, lago, río o quebrada.

**Interposición de elementos entre la orilla erosionada y la corriente de agua:** es uno de método de protección de las riberas de los ríos y estas pueden ser revestimiento de margen de ríos o de pantalla

**Disminución de la capacidad erosiva de la corriente de agua:** es otro método de protección de las riberas de los ríos y estas son los elementos de control de movimiento del flujo de agua.

**Esfuerzo de cortante critico de iniciación de movimiento.** El esfuerzo cortante mínimo necesario para la iniciación del movimiento de las partículas.

## **2.4 FORMULACIÓN DE HIPOTESIS**

### **2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL**

La interposición de un elemento estructural de muro de gaviones entre la orilla y la corriente de agua previene y controla significativamente el deterioro de las riberas del rio San Fernando en el tramo Chayhuamayo – Shucusma.

### **2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICOS**

1. El caudal máximo incide significativamente en el desborde de la ribera del rio San Fernando en el tramo Chayhuamayo – Shucusma
2. Las características mecánicas y físicas del suelo de la ribera inciden significativamente en el deterioro de la ribera del rio San Fernando en el tramo Chayhuamayo – Shucusma.
3. Las velocidades de flujo y esfuerzos cortantes inciden significativamente en el deterioro de la ribera del rio San Fernando en el tramo Chayhuamayo – Shucusma.

## 2.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

### Definición de conceptos de las variables

- a) **Variable independiente (X): Sistema de prevención y control de erosión de la ribera del río**, consiste en estructuras diseñadas sobre la base de los principios de la ingeniería. Su diseño y ejecución requieren conocimientos y experiencia especializados. La erosión es el fenómeno que comprende el desprendimiento y traslado o arrastre de las partículas de suelo por la acción del agua, del viento o de la actividad biológica en general. La erosión puede ser: natural (normal o geológica) y acelerada.

#### Dimensiones:

**Interposición de elementos entre la orilla erosionada y la corriente de agua:** es uno de método de protección de las riberas de los ríos y estas pueden ser revestimiento de margen de ríos o de pantalla

**Disminución de la capacidad erosiva de la corriente de agua:** es otro método de protección de las riberas de los ríos y estas son los elementos de control de movimiento del flujo de agua.

- b) **Variable dependiente (Y): deterioro de las riberas.** Al aumentar el caudal la velocidad del flujo de agua aumenta y se produce erosión en las riberas de los ríos en consecuencia se da el deterioro de las riberas de los ríos.

#### Dimensiones:

**Esfuerzo de cortante critico de iniciación de movimiento.** El esfuerzo cortante mínimo necesario para la iniciación del movimiento de las partículas.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es **aplicada o tecnológica** ya que se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos teóricos a determinada situación concreta y las consecuencias prácticas que de ella se derivan. La investigación aplicada busca conocer para hacer, para actuar, para construir, para modificar, le preocupa la aplicación inmediata sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de un conocimiento de valor universal”.

#### 3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es de nivel **descriptivo – explicativo**.

Descriptivo, se efectúa cuando se desea describir, en todos sus componentes principales, una realidad. Tiene como objetivo la descripción

de los fenómenos a investigar tal como es y cómo se manifiesta en el momento (presente) de realizarse el estudio y utiliza la observación como método descriptivo buscando especificar las propiedades importantes para medir y evaluar aspectos, dimensiones o componentes.

Explicativo, encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas como de los efectos mediante la prueba de hipótesis.

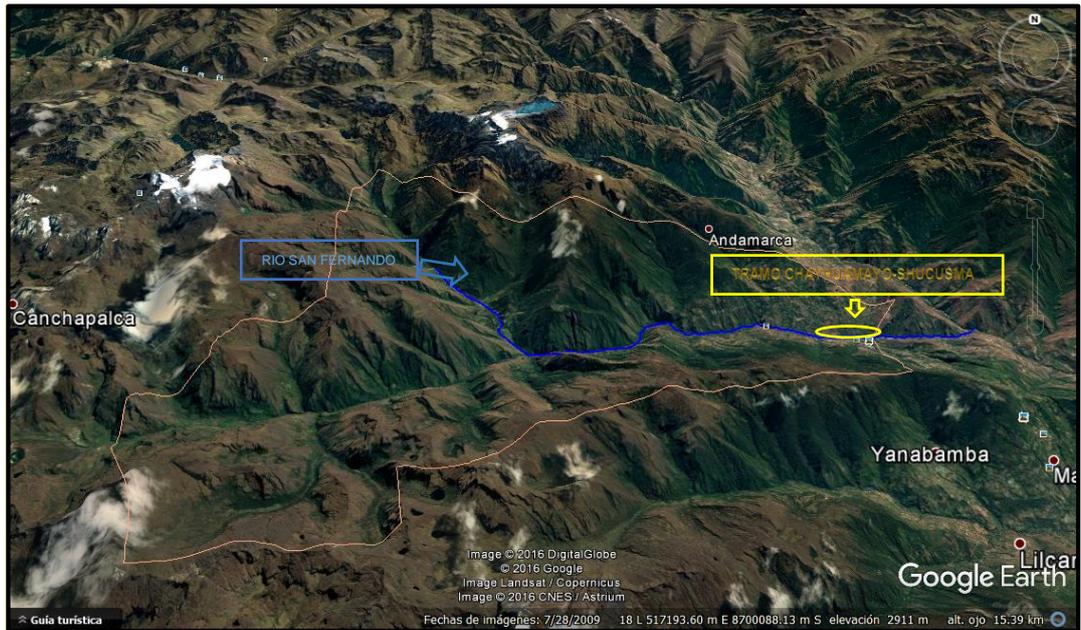
### **3.3. DISEÑO DE INVESTIGACION**

Basándose en las estrategias a investigar el diseño de la investigación es de diseño no experimental; la que se realiza sin manipular deliberadamente las variables. Es decir, se trata de investigación donde no hacemos variar intencionalmente las variables independientes. Lo que hacemos en la no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos.

### 3.4. POBLACION MUESTRA

- a) **POBLACIÓN:** Está conformado por la ribera del río San Fernando con una longitud total de 600 metros tramo Chayhuamayo – Shucusma

Imagen satelital N° 01. Vista panorámica de la ribera del río San Fernando. Fuente: Google Earth



- b) **MUESTRA:** progresiva 0:000 – 0:060 metros, considerando la técnica de muestreo no probabilístico o dirigida por conveniencia. El muestreo se realizó sobre la base del conocimiento y criterio de lo que se observó en campo, la muestra depende del criterio del investigador. La unidad de análisis está constituida por la erosión de taludes en la ribera del río.

El tamaño de la muestra es la zona vulnerable a erosión en el tramo Chayhuamayo – Shucusma, de la progresiva 0:000 a 0:060 metros erosionada con posibilidad de desborde de río por el incremento de caudal del río San Fernando en épocas de lluvias.

Imagen satelital N° 02. Vista panorámica de la zona vulnerable. Fuente: Google Earth



### **3.5. TECNICAS DE RECOJO, PROCESAMIENTO Y PRESENTACION DE DATOS**

#### **3.5.1. Fuentes de información**

Las fuentes de información serán fuentes primarias (del lugar de origen), proporcionado por los miembros de las localidades del Distrito de Santo Domingo de Acobamba – Huancayo – Junín.

El estudio se amplió con las recomendaciones de los autores y su punto de vista, de estudios de ingeniería que servirá para obtener una idea clara de los alcances de los objetivos.

Durante la investigación se buscó información empírica de prevención y control de erosión en la ribera del río San Fernando el cual demostrara los hechos y realidades que ocurren actualmente, también se recolecto datos de antecedentes de investigación los cuales son complementos para el sustento

del diagnóstico de la prevención y control de erosión en la ribera del río San Fernando tramo Chayhuamayo – Shucusma cuáles son los siguientes.

### 3.5.2. Técnicas

En primer lugar, se tiene en cuenta el análisis documental, donde se considerará las fichas bibliográficas, de resumen, de párrafo; que nos servirán para estructurar el marco teórico referencial y conceptual de la presente investigación.

Según SUÁREZ, Paúl<sup>1</sup> (1998:36) sostiene que el fichaje “consiste en registrar los datos que se van obteniendo en los instrumentos llamados fichas, las cuales debidamente elaboradas y ordenadas contienen la mayor parte de la información que se recopila en una investigación”.

Según ARY, Donald y otros<sup>2</sup>, (1993:68) “las fichas deben cumplir una serie de requisitos formales que tienen como objetivo, facilitar su utilización posterior”. Asimismo, se considerará las no documentadas como las la observación propiamente dicha, las cuales se elaboraron teniendo en cuenta los criterios de confiabilidad.

**La observación.** Es el proceso sensorial de aplicación selectiva de la intensidad selectiva de la intensidad reflexiva de la atención en un determinado fenómeno u objeto con la finalidad de examinar, interpretar y conocer sus particularidades como forma, dimensión, ubicación en el espacio su movimiento en el espacio y el tiempo y el contexto respecto a otros fenómenos de su contorno. Por otro lado la técnica de la observación se aplicó durante los estudios topográficos, estudios de suelos, estudio de canteras y estudios hidrológicos en la ribera del río San Fernando (tramo Chayhuamayo - Shucusma).

---

<sup>1</sup> SUÁREZ, Paúl Técnicas de Investigación. 1998.

<sup>2</sup> ARY, Donald y otros (1993) Introducción a la Investigación Pedagógica. Ed. Mc Graw – Hill. 2da. Edic.

### **3.5.3. INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

Para la obtención de los datos concernientes al tema de investigación, se tendrán en cuenta los siguientes estudios de ingeniería.

#### **3.5.3.1. ESTUDIO TOPOGRAFICO.**

La realización de los estudios de topografía tiene por objetivo realizar las mediciones que determinaran la posición relativa de los puntos terrestres, como así también realizar los cálculos de dichas mediciones, y utilizar los resultados para realizar planos.

Los estudios topográficos realizados contemplan el levantamiento de detalles naturales (depresiones y taludes). Y estos son la base del diseño garantizando la calidad de la propuesta que se planteará

El límite del levantamiento topográfico comprende toda el área en estudio, dándole énfasis en el sector afectado o vulnerable, en nuestro caso el levantamiento topográfico se hizo a detalle en el margen afectado. La información topográfica se realizó en el sistema de coordenadas UTM Datum WGS - 84.

Se realizó el levantamiento topográfico de la sección transversal que cubrió un área suficientemente amplia para diseñar la estructura de protección. Los datos de cada sección transversal se levantaron a 5.00m, dejando fijado entonces en el terreno las referencias topográficas permanentes que permitirán replantear el alineamiento del eje del río y el estacado del proyecto en los casos en que el estacado desaparezca por cualquier causa.

#### **3.5.3.2. ESTUDIO HIDROLÓGICO**

En la actualidad la hidrología tiene un papel muy importante en el planeamiento del uso de los recursos hidráulicos, y ha llegado a convertirse en parte fundamental de los proyectos de ingeniería que tienen que ver con suministro de agua, disposición de aguas servidas, drenaje, protección

contra la acción de ríos y recreación. De otro lado, la integración de la hidrología con la geografía matemática en especial a través de los sistemas de información geográfica ha conducido al uso imprescindible del computador en el procesamiento de información existente y en la simulación de ocurrencia de eventos futuros.

El objetivo del estudio hidrológico es la determinación de caudales mediante el método de medición in-situ en épocas de máximas avenidas (noviembre-febrero)

Los resultados de los estudios hidrológicos serán usados en la realización de:

- El diseño de obras hidráulicas, para efectuar estos estudios se utilizan frecuentemente modelos matemáticos que representan el comportamiento de toda la cuenca sustentada por la obra en examen;
- La operación optimizada del uso de los recursos hídricos en un sistema complejo de obras hidráulicas, sobre todo si son de usos múltiples. En este caso se utilizan generalmente modelos matemáticos conceptuales, y se procesan en tiempo real;
- El correcto conocimiento del comportamiento hidrológico de como un río, arroyo, o de un lago es fundamental para poder establecer las áreas vulnerables a los eventos hidro-meteorológicos extremos;
- Prever un correcto diseño de infraestructura vial, como caminos, carreteras, ferrocarriles, etc.

Todo esto y muchas aplicaciones más hacen que el hidrólogo sea un personaje importante en todo equipo multidisciplinar que enfrenta problemas de ingeniería civil en general y problemas de carácter ambiental.

Con la información existente, se realizó visitas de reconocimiento preliminar a la zona en estudio, para tener mayor conocimiento in-situ, de la situación real en cuanto a daños, suelos, vegetación, características del cauce y

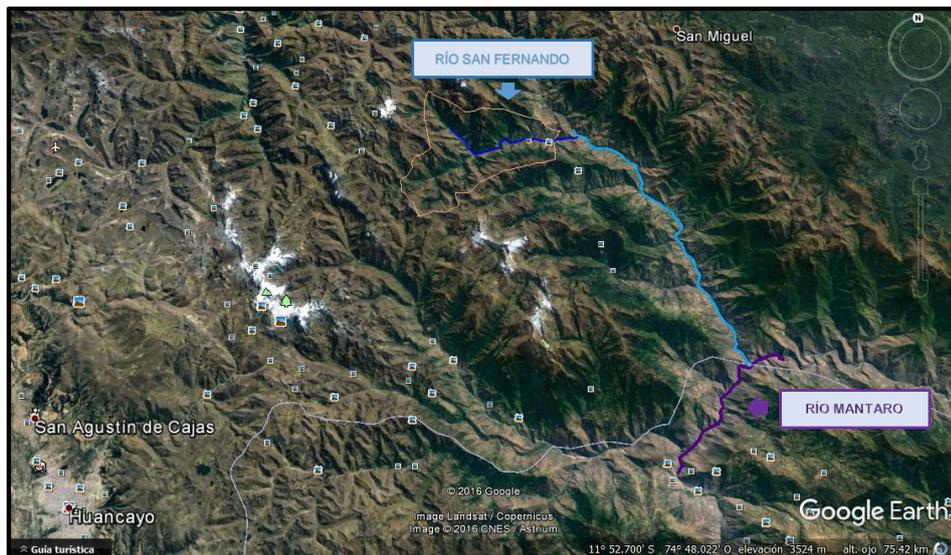
ubicación de tramo vulnerable, es decir, se utilizó el método de observación directa como primer paso.

### 3.5.3.3. HIDRAULICA

El objetivo del estudio hidráulico es determinar los niveles de agua, velocidades y esfuerzos cortantes en el tramo de la corriente contenida dentro del área de estudio. Estos parámetros serán usados después en el diseño de las obras hidráulicas.

En este caso la corriente sobre la cual se realizó el análisis hidráulico es el río San Fernando. El río pertenece a sub-cuenca del río Mantaro de primer orden según el sistema de Horton, y colecta aguas del nevado San Felix, el río acentúa su comportamiento rectilíneo por su sinuosidad baja, es decir, un único canal muy inestable y tiene un caudal de alta energía y gran capacidad erosiva.

Imagen satelital N° 03. Sub cuenca del rio Mantaro de primer orden sistema Horton: Fuente. Google Earth



Esta parte de la investigación permitirá observar el perfil de la superficie libre de agua sobre la línea del Thalweg generada cuando se realizó el levantamiento topográfico en el río San Fernando en una longitud de 60m,

aguas arriba, en el que se consideró 13 secciones transversales perpendiculares a la línea del Thalweg, primeramente para el caso sin defensa ribereña, para observar hasta donde se levanta el agua considerando el coeficiente de rugosidad de Manning, teniendo en cuenta las partículas inherentes en el lecho del río San Fernando en el tramo de estudio y posteriormente realizar el tránsito de la máxima avenida considerando la estructura hidráulica de protección de riberas.

Durante los trabajos de campo efectuado se hizo reconocimiento de la ubicación propuesta del eje del río San Fernando con la finalidad de determinar los parámetros hidráulicos, las características hidráulicas del cauce comprometido y el probable comportamiento del mismo ante la ocurrencia del máximo caudal.

**a) Determinación del coeficiente de rugosidad de Manning.-** el coeficiente de rugosidad de Manning fue determinado teniendo en cuenta la visita in-situ del cauce del río en el tramo en estudio, para luego compararlo con los registros del programa RIVER (diseño de defensa ribereña).

Otra forma de determinar el coeficiente de Manning es analizar la granulometría inherente en la zona, cuyo diámetro máximo corresponde a 0.50m y un  $D_{50} = 25\text{cm}$ , como se observa en las Fotografías (ANEXOS N° 01), en el lecho del río San Fernando.

$$n = 0.0456(D_{50}S)^{0.159}$$

Donde:

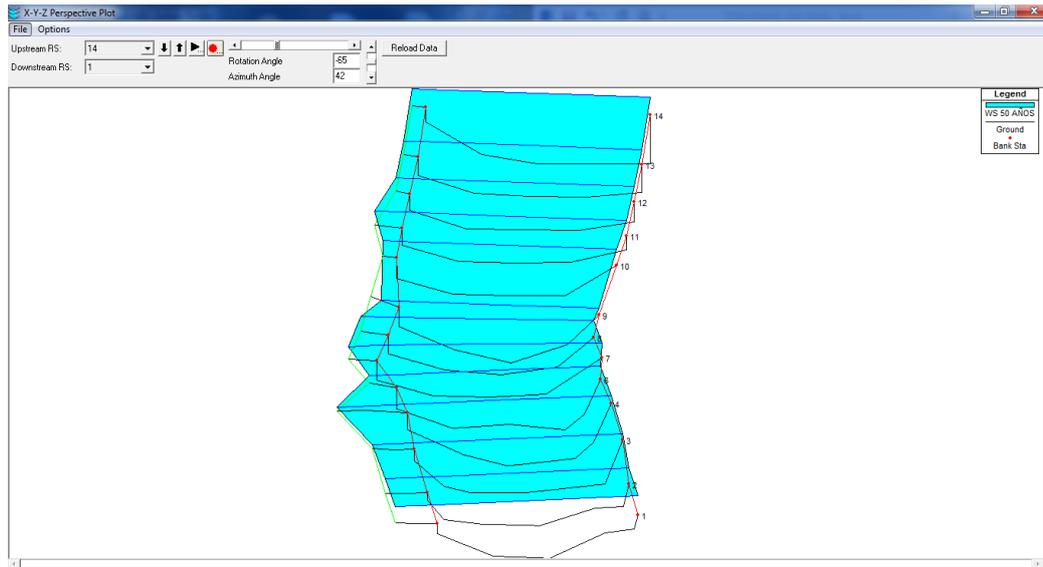
$S_0$ : Pendiente del río.

$D_{50}$ : Diámetro medio de las partículas del fondo del lecho (plg).

**b) Simulación de flujo a través del tramo de estudio.-** Simulación para el caso sin defensa ribereña, Teniendo en cuenta el caudal de máximas

avenidas para el período de retorno de diseño, se muestra los resultados de la simulación en forma completa a través del programa HEC-RAS 4.1

Imagen N° 04. Simulación de flujo de agua con un caudal de diseño de  $68.04\text{m}^3/\text{s}$



Fuente: Programa HEC-RAS 4.1

Se muestra las secciones transversales a cada 5 metros, luego de transitado el caudal de máximas avenidas para el período de diseño de 50 años, realizado en el programa HEC-RAS 4.1, en el que se puede observar claramente que el margen derecho del río San Fernando, queda inundada cuando se transita el caudal de diseño, considerando necesario la instalación de una defensa ribereña en una longitud de 50m, como se observa en el plano PL-01.

El detalle de cada sección transversal y el perfil longitudinal del río se puede apreciar en el ANEXO N° 03.

- c) Riesgo de falla – periodo de vida útil.-** El cálculo del período de vida útil se determinó mediante el método probabilístico recomendado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Este método relaciona

el riesgo de la falla de obra R, el cual el período de retorno T y los años de vida útil “n” en la siguiente formula.

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

Considerando una vida útil de 25 y 50 años se estimaron los factores de riesgo para períodos de retorno de 50, 100 y 500 años, este resultado se presenta en la tabla N° 06

Tabla N° 06. Probabilidad de falla para una obra cuya vida útil es de 25 o 50 años para períodos de retorno de 50, 100 y 500 años

Vida útil (años)	Período de retorno (años)		
	50	100	500
25	39.65%	22.22%	4.88%
50	63.58%	39.50%	9.52%

Fuente: Torres. (2009)

### 3.5.3.4. MECÁNICA DE SUELOS

Obtenida la muestra del suelo de la zona de estudio (zona crítica) a través de una calicata de una profundidad de 2.00 metros, se procedió a realizar los ensayos de laboratorio de acuerdo de las normas ASTM según la relación que se indica y clasificación de acuerdo al sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS). Resultados que se muestra en el (ANEXO N° 05 Resultados de Estudio de Mecánica de Suelos)

- Análisis granulométricos por Tamizados ASTM D-422
- Contenido de humedad ASTM D-2216.

- Limite liquido ASTM D-4318
- Limite plástico ASTM D-4318
- Ensayo de corte directo ASTM D-3080
- Densidad húmeda
- Perfil estratigráfico.

### 3.5.3.5. GEOMORFOGÍA

Luego de las visitas al área de estudio esta área geomorfológicamente, tiene las siguientes características.

Cuadro N° 03. Características geomorfología de la zona de estudio.

FACTOR	CARACTERÍSTICAS
Tipo de Valle	Relieve rocoso con fuerte pendiente
Régimen Hidrológico	Perenne con períodos definidos
Variabilidad del Ancho	Regular
Material de la Orilla	Aluvial (tierra-roca)
Material de Fondo	Aluvial (rocas de mayor tamaño y en gran cantidad) canal principal recto con rocas

Fuente: Elaboración propia

Con esos detalles se ha procedido a calcular la sección estable o amplitud de cauce como se muestra a continuación.

**Cálculo la sección estable o amplitud de cauce.-** Por el método de Mannig y Strickler, este método pide seleccionar el coeficiente de rugosidad “n”, el coeficiente del tipo de material “K” y el coeficiente del cauce (m) que se muestra en el cuadro N° 04 ; Los resultados se muestran en el cuadro N° 05.

Cuadro N° 04. Coeficiente de rugosidad (n) de cause (k), coeficiente tipo de material de cauce (m)

Metodo de Manning y Strickler

$B = (Q^{1/2}/S^{1/5}) (n K^{5/3})^{3/(3+5m)}$  Mas Rugosidad

Rugosidad del Cauce del Rio (n)

- 0.025 Solido sin irregularidades
- 0.030 Con acarreo irregular
- 0.033 Con vegetacion
- 0.034 Con derrubio e irregular
- 0.035 Con fuerte transporte de acarreo
- 0.040 Con piedras de 0.25 a 0.30 m
- 0.045 Con derreivio grueso y acarreo movil

Coficiente - Tipo de Material del Cauce (K)

- 10 - Valor Practico
- 12 - Material Aluvial
- 16 - Material facilmente erosionable
- 3 - Material muy resistente

Coficiente de Cauce (m)

- 0.50 - Rios de cauces aluviales
- 0.70 - Rios de cauces arenosos
- 1.00 - Rios de cauces de montaña

Fuente: Programa River

Cuadro N° 05. Cálculo de la sección estable

Cálculo de la sección estable o amplitud de cauce		
Método de Manning ( $B = (Q^{1/2}/S^{1/5})(nK^{5/3})^{3/(3+5m)}$ )		
Caudal instantáneo	Qins (m3/s)	68.04
Pendiente del río	S (m/m)	0.0367
Coficiente de rugosidad	n	0.030
Coficiente del material de cauce	K	10.00
Coficiente del tipo de río	m	1.00
Sección estable o amplitud de cauce	B (m)	12.98

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.3.6. GEOLOGÍA

Los suelos del río San Fernando son suelos limo-arcillosos con presencia de roca en grandes cantidades, presentando una topografía accidentada con presencia de cerros rocosos que rodean al Distrito de Santo Domingo

de Acobamba, los suelos de la zona en estudio van desde muy superficiales en las laderas, hasta muy profundas en las partes bajas y llanas.

El suelo predominante que conforma el lugar del proyecto es de tierra de cultivo y rocas de tamaño variable

### **3.5.3.7. GEOTECNIA**

El tramo del proyecto corresponde a transporte y sedimentación parcial en el cauce del río San Fernando, con presencia de materiales de tierra de cultivo y roca en rango regular.

El río San Fernando es torrentoso de pendientes variables, presentando sus máximas avenidas en los meses de noviembre a marzo y su estiaje en los meses de mayo a setiembre. En la zona del proyecto, el río presenta una amplitud variable del cauce, el cual está conformado mayormente por canto rodado.

### **3.5.3.8. PLANTEAMIENTO DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN CON DEFENSAS RIBEREÑAS**

- a) **Elección del método de protección de riberas.**- Para la elección del método de protección de riberas de ríos se tomó en cuenta la funcionalidad que esta estructura de protección cumplirá en la zona de estudio tramo Chayhuamayo - Shucusma. En el cuadro N° 06 se muestra los métodos.

Cuadro N° 06. Métodos de protección de riberas

MÉTODOS DE PROTECCION DE RIBERAS DE RÍOS	DENOMINACIÓN
INTERPOSICIÓN DE UN ELEMENTO QUE EVITE LA EROSIÓN ENTRE LA ORILLA Y LA CORRIENTE DE AGUA	ESTRUCTURAS DE PROTECCION DE MARGENES
DISMINUCIÓN DE LA CAPACIDAD EROSIVA DE LA CORRIENTE DE AGUA	ELEMENTOS DE CONTROL DE MOVIMIENTO DE FLUJO

Fuente: elaboración propia

En el ANEXO N° 03. Se observa la simulación de flujo de agua con un caudal de diseño de  $68.04\text{m}^3/\text{s}$ , el tramo en estudio queda desbordada e inundada por el margen derecho, considerando entonces la protección de la ribera del río San Fernando por **método de interposición de un elemento que evite la inundación y erosión entre la orilla y la corriente de agua**

Las alternativas de solución planteadas para el control de erosión de las riberas en la zona de estudio se diferencian principalmente por el tipo de material a usar. Entre las principales alternativas tenemos aquellas que usan: Enrocados, Gaviones y concreto armado.

La elección de la alternativa adecuada se realizó mediante una evaluación que permite identificar las ventajas, desventajas de cada una de estas.

### 3.5.3.9. ANALISIS DE COSTOS DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCION – PRESUPUESTO REFERENCIAL

Para la elección de la alternativa de solución que mejor se ajuste a las características de la zona de estudio, se desarrollaron los presupuestos referenciales de las alternativas asumidas con una longitud de tramo de defensa de 50m.

Cada presupuesto referencial ha sido desarrollado considerando las siguientes componentes:

**a) Defensa ribereña con uso de muro de gaviones**

**Obras Provisionales,** Se considera la construcción de un cartel de identificación de obra, oficina y almacén para obra. Se asume un costo bajo para la movilización de equipos pues para el desarrollo de esta propuesta se usara solo (01) volquete para el traslado de rocas de 120mm a 250mm.

**Obras Preliminares,** Considera el trazo y replanteo durante la obra.

**Movimiento de tierras,** Se considera la excavación de plataforma y en pared en roca suelta, perfilado a mano y eliminación de material excedente.

**Obras estructurales (defensa ribereña),** Las obras consideradas en esta propuesta es la instalación de gaviones fabricados in-situ

**CANTERAS.**

El material a usar para la construcción de la estructura de protección como es el muro de contención con gaviones será roca con diámetro entre los 120mm a 250mm, encontrándose este material a 45m de distancia aproximada del proyecto que está en el cauce del río, y en el volumen necesario para la construcción de los gaviones, los mismos que serán recolectados y apilados para luego ser cargados con volquete y concentrados en el lugar de ejecución de la obra.

**b) Defensas ribereñas con uso de enrocado con roca colocada**

**Obras Provisionales,** Se considera la construcción de un cartel de identificación de obra, oficina y almacén para obra. Se asume un costo relativamente alto para la movilización de equipos pues para el desarrollo

de esta propuesta se usara (01) volquete y (01) cargador frontal para la recolección y traslado de rocas de 500mm – 550mm.

**Obras Preliminares,** Considera el trazo y replanteo durante la obra.

**Movimiento de tierras,** Se considera la excavación de uña de talud, conformación de la plataforma o terraplén con material propio y refine y perfilo de talud para enrocado con maquinaria pesada (excavadora sobre orugas 170-250HP).

**Enrocado de protección,** Se trata de la construcción de una estructura conformada por rocas colocadas o acomodadas con ayuda de equipos mecánicos como tractores, cargadores frontales, retro-excavadoras o grúas, con el objeto de proteger taludes evitando su erosión o desprendimiento; sirviendo de “cuña” al pie de los taludes; en zonas críticas que se adecuan su aplicación o como lo disponga la Supervisión. Los enrocados también serán utilizados para proteger estructuras de la erosión y socavación que producen las aguas (protección de riberas, entradas y salidas de puentes, pontones, alcantarillas, badenes, etc.).

#### **5.3.4. PROCEDIMIENTO Y PRESENTACIÓN DE DATOS**

##### **5.3.4.1. Procesamiento de datos**

Para la elaboración y procesamiento de los datos se empleará el programa siguiente: Civil 3D, River (Diseño de defensas ribereñas), HEC-RAS 4.1 en sus versiones actualizadas.

##### **5.3.4.2. Presentación de datos**

Se utilizaran los cuadros de resultados proporcionados por los programas River, HEC-RAS 4.1 y S10, los que servirán para: ordenar los datos obtenidos a fin de realizar las interpretaciones y estas se puede apreciar en los Anexos N° 2, 3 y 4.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1. ANÁLISIS DE DATOS**

Con la información obtenida se procedió a las evaluaciones de la propuesta apropiada para el estudio de investigación, la propuesta de solución planteada para el control y prevención de las riberas en la zona de estudio se diferencia principalmente por dos métodos de protección de las riberas de los ríos y el tipo de material a usar. Entre las principales alternativas tenemos aquellas que usan: enrocados, gaviones, concreto armado, bioingeniería, prefabricados de concreto, y no convencionales.

El criterio para la evaluación de las propuestas fue el identificar los métodos de protección de las riberas de los ríos y los factores que intervienen directamente en el desarrollo de una obra y factores de zona.

El primer grupo asocia o se basa en las alternativas o filosofías distintas de los métodos de protección de riberas de ríos entre ellos tenemos la interposición de elementos entre la orilla erosionada y la corriente de agua y la disminución

de la capacidad erosiva de la corriente de agua, el segundo grupo asocia los factores particulares de cada alternativa, así por ejemplo tenemos: los aspectos constructivos, el tiempo de ejecución, el uso de la mano de obra calificada y el uso de equipos, mientras que el tercer grupo a los factores característicos de la zona de estudio entre estos tenemos: la disponibilidad de materiales y el transporte.

#### 4.1.1. Determinar el caudal máximo del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma.

La información hidrológica es escasa en la zona del proyecto así es que se ha realizado el cálculo de caudal medio “método de medidas in-situ” teniendo en cuenta las marcas dejadas por el agua en anteriores eventos señal de vida que se muestra en el Plano P-01 (ALTURAS EN PUNTO DE MEDICIÓN), se tomó el presente criterio para este proyecto y se muestra en los siguientes. Cuadros N° 07, 08, 09, 10, 11, 12

Cuadro N° 07. Caudal medio calculado en la progresiva 0+005.

<b>Caudal medio calculado en la progresiva 0 + 005</b>					
Punto de medición	0%	25%	50%	75%	100%
Longitud total del ancho de cauce L ( m )	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
Longitud de punto de medición l ( m )	0.000	4.000	8.000	12.000	16.000
Altura en el punto de medición h ( m )	0.550	0.680	0.710	0.680	0.360
Altura promedio H ( m )	0.596				
Área total del ancho de cauce A ( m <sup>2</sup> )	9.821				
Perímetro mojado Pm ( m )	32.932				
Radio hidráulico Rh ( m )	0.298				
Coefficiente de Manning N	0.030				
Pendiente del río en zona del proyecto. S ( m / m )	0.042				
Velocidad del agua V ( m / s )	1.437				
Caudal medio Qints ( m <sup>3</sup> / s )	9.881				

Fuente: elaboración propia

**INTERPRETACION:**

Las medidas de la profundidad de la sección se tomó a cada 25% de la longitud de cauce, obteniendo una altura promedio de 0.596m, para luego determinar el caudal medio en la sección por el formula de Manning cuyo resultado es de 9.881m<sup>3</sup>/s.

Cuadro N° 08. Caudal medio calculado en la progresiva 0+015.

<b>Caudal medio calculado en la progresiva 0 + 015</b>					
Punto de medición	0%	25%	50%	75%	100%
Longitud total del ancho de cauce L ( m )	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
Longitud de punto de medición l ( m )	0.000	4.000	8.000	12.000	16.000
Altura en el punto de medición h ( m )	0.370	0.570	0.620	0.620	0.340
Altura promedio H ( m )	0.504				
Área total del ancho de cauce A ( m <sup>2</sup> )	8.884				
Perímetro mojado Pm ( m )	32.648				
Radio hidráulico Rh ( m )	0.272				
Coefficiente de Manning N	0.030				
Pendiente del río en zona del proyecto. S ( m / m )	0.042				
Velocidad del agua V ( m / s )	1.173				
Caudal medio Qmed ( m <sup>3</sup> / s )	10.419				

Fuente: elaboración propia

**INTERPRETACION:**

Las medidas de la profundidad de la sección se tomó a cada 25% de la longitud de cauce, obteniendo una altura promedio de 0.504m, para luego determinar el caudal medio en la sección por el formula de Manning cuyo resultado es de 10.419m<sup>3</sup>/s.

Cuadro N° 09. Caudal medio calculado en la progresiva 0+025.

<b>Caudal medio calculado en la progresiva 0 + 025</b>					
Punto de medición	0%	25%	50%	75%	100%
Longitud total del ancho de cauce L ( m )	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
Longitud de punto de medición l ( m )	0.000	4.000	8.000	12.000	16.000
Altura en el punto de medición h ( m )	0.350	0.540	0.590	0.570	0.430
Altura promedio H ( m )	0.496				
Área total del ancho de cauce A ( m <sup>2</sup> )	8.453				
Perímetro mojado Pm ( m )	32.790				
Radio hidráulico Rh ( m )	0.258				
Coeficiente de Manning N	0.030				
Pendiente del río en zona del proyecto. S ( m / m )	0.042				
Velocidad del agua V ( m / s )	1.099				
Caudal medio Qmed ( m <sup>3</sup> / s )	9.292				

Fuente: elaboración propia

**INTERPRETACION:**

Las medidas de la profundidad de la sección se tomó a cada 25% de la longitud de cauce, obteniendo una altura promedio de 0.496m, para luego determinar el caudal medio en la sección por el formula de Manning cuyo resultado es de 9.292m<sup>3</sup>/s.

Cuadro N° 10. Caudal medio calculado en la progresiva 0+035.

<b>Caudal medio calculado en la progresiva 0 + 035</b>					
Punto de medición	0%	25%	50%	75%	100%
Longitud total del ancho de cauce L ( m )	14.535	14.535	14.535	14.535	14.535
Longitud de punto de medición l ( m )	0.000	3.634	7.268	10.901	14.535
Altura en el punto de medición h ( m )	0.000	0.590	0.740	0.670	0.370
Altura promedio H ( m )	0.474				
Área total del ancho de cauce A ( m <sup>2</sup> )	8.584				
Perímetro mojado Pm ( m )	29.557				
Radio hidráulico Rh ( m )	0.290				
Coeficiente de Manning N	0.030				
Pendiente del río en zona del proyecto. S ( m / m )	0.042				
Velocidad del agua V ( m / s )	1.202				
Caudal medio Qmed ( m <sup>3</sup> / s )	10.314				

Fuente: elaboración propia

**INTERPRETACION:**

Las medidas de la profundidad de la sección se tomó a cada 25% de la longitud de cauce, obteniendo una altura promedio de 0.474m, para luego determinar el caudal medio en la sección por el formula de Manning cuyo resultado es de 10.314m<sup>3</sup>/s.

Cuadro N° 11. Caudal medio calculado en la progresiva 0+045.

<b>Caudal medio calculado en la progresiva 0 + 045</b>					
Punto de medición	0%	25%	50%	75%	100%
Longitud total del ancho de cauce L ( m )	14.611	14.611	14.611	14.611	14.611
Longitud de punto de medición l ( m )	0.000	3.653	7.306	10.958	14.611
Altura en el punto de medición h ( m )	0.000	1.050	0.880	0.880	0.330
Altura promedio H ( m )	0.785				
Área total del ancho de cauce A ( m <sup>2</sup> )	7.780				
Perímetro mojado Pm ( m )	29.843				
Radio hidráulico Rh ( m )	0.261				
Coefficiente de Manning N	0.030				
Pendiente del río en zona del proyecto. S ( m / m )	0.033				
Velocidad del agua V ( m / s )	1.349				
Caudal medio Qmed ( m <sup>3</sup> / s )	10.499				

Fuente: elaboración propia

**INTERPRETACION:**

Las medidas de la profundidad de la sección se tomó a cada 25% de la longitud de cauce, obteniendo una altura promedio de 0.785m, para luego determinar el caudal medio en la sección por el formula de Manning cuyo resultado es de 10.499m<sup>3</sup>/s.

Cuadro N° 12. Caudal medio calculado en la progresiva 0+055.

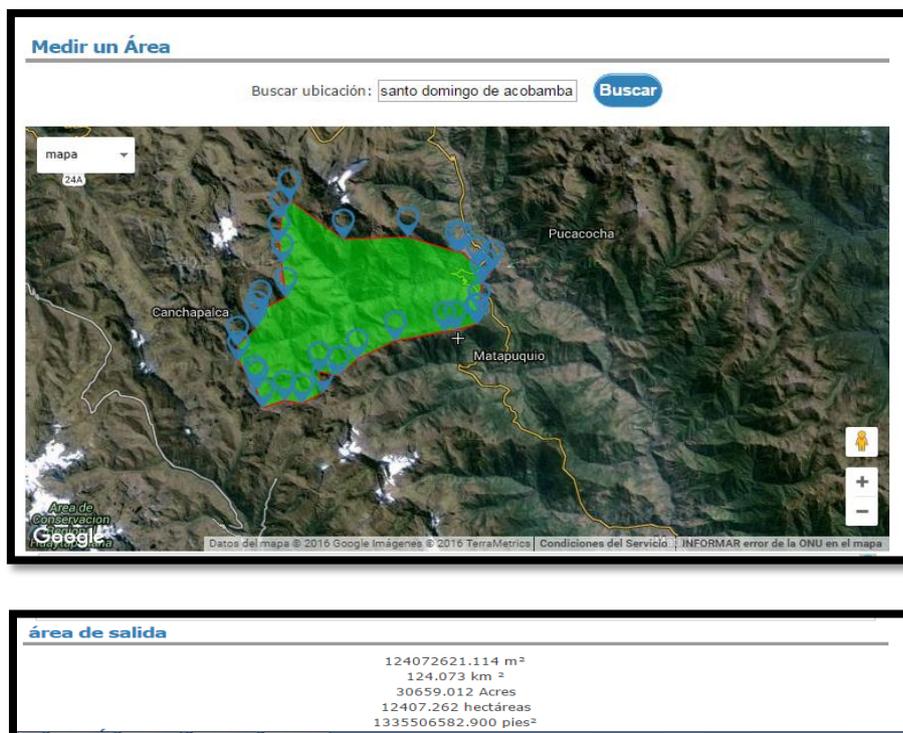
<b>Caudal medio calculado en la progresiva 0 + 055</b>					
Punto de medición	0%	25%	50%	75%	100%
Longitud total del ancho de cauce L ( m )	14.444	14.444	14.444	14.444	14.444
Longitud de punto de medición l ( m )	0.000	3.611	7.222	10.833	14.444
Altura en el punto de medición h ( m )	0.000	0.440	0.740	0.660	0.140
Altura promedio H ( m )	0.495				
Área total del ancho de cauce A ( m <sup>2</sup> )	8.645				
Perímetro mojado Pm ( m )	27.401				
Radio hidráulico Rh ( m )	0.315				
Coefficiente de Manning N	0.030				
Pendiente del río en zona del proyecto. S ( m / m )	0.033				
Velocidad del agua V ( m / s )	1.201				
Caudal medio Qmed ( m <sup>3</sup> / s )	10.382				

Fuente: elaboración propia

**INTERPRETACION:**

Las medidas de la profundidad de la sección se tomó a cada 25% de la longitud de cauce, obteniendo una altura promedio de 0.495m, para luego determinar el caudal medio en la sección por el formula de Mannimg cuyo resultado es de 10.382m<sup>3</sup>/s

Imagen satelital N° 05. Área de acumulación de precipitación en la zona del proyecto. Fuente: Freep Maps Tools



Cuadro N° 13. Caudal instantáneo para diferentes períodos de retorno

Cálculo del caudal instantáneo - Método de Fuller ( $Q_{ins} = Q_{med}(1+2.66/A^{0.3})(1+0.8Ln T)$ )										
Caudal medio $Q_{med}$ ( $m^3/s$ )	10.13	10.13	10.13	10.13	10.13	10.13	10.13	10.13	10.13	10.13
Área húmeda de la cuenca $A$ ( $km^2$ )	124.07	124.07	124.07	124.07	124.07	124.07	124.07	124.07	124.07	124.07
Período de retorno $T$ (años)	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00
Caudal instantánea $Q_{ins}$ ( $m^3/s$ )	37.69	46.83	52.17	55.96	58.90	61.31	63.34	65.10	66.65	68.04

Fuente: elaboración propia

**INTERPRETACIÓN:**

Teniendo como base el caudal medio promedio del río San Fernando de  $10.13m^3/s$ , también se ha realizado la identificación del área de acumulación de la precipitación como se especifica en la imagen satelital N° 05 en donde se cuenta con  $124.073km^2$  de área y de acuerdo a los caudales encontrados con diferentes periodos de retorno se ha determinado el caudal máximo igual a  $68.04m^3/s$ .

**Tabla N° 07.** Nivel de desborde del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma

<b>Nivel de desborde del río San Fernando en tramo Chayhuamayo - Shucusma</b>						
		<b>Xi</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Porcentaje válido</b>	<b>Porcentaje acumulado</b>
Válidos	Severo	01	3	30.00	30.00	30.00
	Leve	02	4	40.00	40.00	70.00
	Nula	03	3	30.00	30.00	100.00
	<b>Total</b>		10	100,0	100,0	

**Fuente:** Propia

**Tabla N° 08** Estadística 01

<b>Estadísticos</b>		
<b>Nivel de desborde del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma</b>		
N	Válidos	10
	Perdidos	0
Media		2,05
Mediana		2,00
Moda		2
Desv. típ.		0,780
Varianza		0,608

**INTERPRETACIÓN:**

Con respecto a la tabla de frecuencias del grado deterioro y desborde del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo – Shucusma se puede decir que un 40.0% es moderado, versus 30.0% severo y 30,0% leve y en la evaluación de los estadísticos de medidas de tendencia central, obtenemos resultados de una moda de 2.00, media de 2.06, mediana de 2.00 y una varianza de 0.608

**4.1.2. Determinar las características mecánica y físicas del suelo de la ribera del río San Fernando en el tramo crítico Chayhuamayo – Shucusma**

Cuadro N° 14. Descripción del perfil estratigráfico de la calita N° 01

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL ESTRATIGRAFICO	
Clasificación de suelo SUCS	GP-GC=Material de grava arcillosa, mezcla de grava, arena y arcilla, grava mal graduadas, de color marrón, en estado compacto y humedad óptima.
Cohesión	0.40Tn/m <sup>2</sup>
Ángulo de Fricción	27.9°
Capacidad Portante (Admisible)	2.26Kg/cm <sup>2</sup>
Peso específico del material de la ribera del río	1850.00kg/m <sup>3</sup>

Fuente: elaboración propia

**INTERPRETACIÓN.**

El suelo encontrado predominante para la ribera vulnerable del tramo, ha sido material de grava mal graduada GP-GC, cuya cohesión es de 0.40Tn/m<sup>2</sup>, ángulo de fricción es de 27.9°, capacidad portante (Admisible) de 2.26Kg/cm<sup>2</sup> y Peso específico del material de la ribera del río de 1850.00kg/m<sup>3</sup>.

**4.1.3. Estimar las velocidades de flujo y esfuerzos cortantes del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo – Shucusma**

Cuadro N° 15. Principales parámetros hidráulicos usados

Parámetros hidráulicos	Valor
Coefficiente de rugosidad Manning	<b>0.030</b>
Pendiente del tramo S (m/m)	<b>0.36</b>

Fuente: Elaboración propia

CUADRO N° 16. Parámetros hidráulicos

River Sta	Prog (km)	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Tirante (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Shear Chan (N/m <sup>2</sup> )	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
13	0+005	68.04	2145.66	2146.66	1.00	2146.95	2147.71	0.02	4.56	193.41	15.05	17.00	1.52
12	0+010	68.04	2145.43	2146.39	0.96	2146.73	2147.57	0.03	4.84	221.56	14.19	17.00	1.66
11	0+015	68.04	2145.24	2146.17	0.93	2146.53	2147.42	0.03	5.00	239.57	13.85	18.00	1.75
10	0+020	68.04	2145.05	2146.05	1.00	2146.40	2147.26	0.03	4.91	225.92	14.01	16.66	1.67
9	0+025	68.04	2144.19	2145.33	1.14	2145.84	2147.05	0.04	5.82	323.62	11.76	15.50	2.05
8	0+030	68.04	2144.40	2145.49	1.09	2145.87	2146.74	0.03	4.99	230.95	13.90	16.55	1.67
7	0+035	68.04	2144.40	2145.45	1.05	2145.78	2146.57	0.03	4.72	208.54	14.66	18.00	1.61
6	0+040	68.04	2144.15	2145.38	1.23	2145.68	2146.44	0.02	4.59	188.96	15.07	16.55	1.46
4	0+045	68.04	2144.00	2145.29	1.29	2145.61	2146.32	0.02	4.52	182.67	15.41	19.61	1.43
3	0+050	68.04	2143.90	2144.98	1.08	2145.35	2146.19	0.03	4.90	220.84	14.12	17.93	1.63
2	0+055	68.04	2143.70	2144.76	1.06	2145.15	2146.05	0.03	5.10	243.26	13.72	17.44	1.73
1	0+060	68.04	2143.50	2144.65	1.15	2145.03	2145.89	0.03	5.00	232.20	14.01	17.37	1.68

Fuente: Elaboración propia

### INTERPRETACIÓN:

Con respecto a los parámetros hidráulicos se muestra la elevación de la superficie libre de agua, elevación del canal, tirante, velocidad en el canal, esfuerzo de corte en el canal, área del flujo, ancho del espejo de agua, número de Froude.

Cuadro N° 17. Velocidades en el margen derecho

River Sta	Prog (km)	Vel Right (m/s)	Vel Chnl (m/s)
13	0+005	1.86	4.55
12	0+010	2.07	4.86
11	0+015	2.36	4.97
10	0+020	2.15	4.98
9	0+025	1.07	5.93
8	0+030	2.33	4.93
7	0+035	2.06	4.83
6	0+040	1.56	4.75
4	0+045	1.01	4.76
3	0+050	1.20	5.10
2	0+055	2.44	5.10
1	0+060	2.59	4.98

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 18. Esfuerzos máximos en el margen derecho.

River Sta	Prog (km)	Shear ROB (N/m <sup>2</sup> )	Shear Chan (N/m <sup>2</sup> )
13	0+005	50.23	193.26
12	0+010	61.73	221.44
11	0+015	77.46	238.97
10	0+020	65.36	226.53
9	0+025	25.47	324.61
8	0+030	73.34	229.99
7	0+035	60.05	208.54
6	0+040	37.51	189.66
4	0+045	19.28	183.23
3	0+050	26.94	221.36
2	0+055	80.27	242.44
1	0+060	22.59	231.60

Fuente: Elaboración propia

### INTERPRETACIÓN:

Se observa una velocidad máxima de 2.59m/s y un esfuerzo de corte máximo de 80.27N/m<sup>2</sup>, ambos en el margen derecho donde se produce el desborde del flujo de agua del río.

Con respecto al esfuerzo máximo de corte presente en el margen derecho del río San Fernando, adyacente a la defensa ribereña proyectada es igual a 80.27N/m<sup>2</sup>. Este esfuerzo de corte, presentado cuando se transita la máxima avenida, según los resultados de esfuerzo de cortes crítico de iniciación de movimiento mediante la fórmula de Shields  $(Y_0)_c$ , puede mover partículas inferiores a  $D = 0.10\text{m}$  puesto que materiales de este diámetro tienen un esfuerzo de corte de iniciación de movimiento de  $(Y_0)_c = 99\text{N/m}^2$

**Tabla N° 09.** Nivel de deterioro de la ribera del río San Fernando tramo Chayhuamayo - Shucusma

Nivel de deterioro de la ribera del río San Fernando tramo Chayhuamayo - Shucusma						
		Xi	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Severo	01	3	23.08	23.08	23.08
	Moderado	02	7	53.84	53.84	76.92
	Leve	03	3	23.08	23.08	100,0
	<b>Total</b>		13	100,0	100,0	

Fuente: Propia

**Tabla N° 10. Estadística 02**

Estadísticos		
Nivel de recuperación en la estructura		
N	Válidos	13
	Perdidos	0
Media		2,11
Mediana		2,00
Moda		2
Desv. típ.		0,658
Varianza		0,433

**INTERPRETACIÓN:**

Los resultados estadísticos obtenidos con respecto al nivel de deterioro de la ribera del río San Fernando tramo Chayhuamayo – Shucusma, es 53.84% moderada, 23.08% severa y 23.08% leve. Para la obtención de resultados con respecto a las medidas de tendencia central se podría decir; media 2.11, mediana 2,00, moda 2 y una varianza de 0.433

**Evaluar técnica y económicamente las propuestas de prevención y control de erosión en la ribera del rio San Fernando**

**Cuadro N° 19. Evaluación de alternativa de solución**

PROPUESTA DE SOLUCIÓN	FACTORES PROPIOS				FACTORES DE ZONA	
	PROCESOS CONSTRUCTIVOS	TIEMPO DE EJECUCIÓN	USO DE MANO DE OBRA CALIFICADA	USO DE EQUIPOS	MATERIALES DISPONIBLES	TRANSPORTE
GAVIONES	S	M	P	P	A	S
ENROCADO CON ROCA COLOCADA	S	M	P	N	N	N
CONCRETO ARMADO	C	L	MU	MU	N	C
PREFABRICADOS DE CONCRETO	S	C	N	N	EA	C

Fuente: Torres Fernández, Jesús. (2012)

Cuadro N° 20. Factores propios

PROCESOS CONSTRUCTIVOS	COMPLEJOS	C
	NORMALES	N
	SIMPLES	S
TIEMPOS	LARGOS	L
	MEDIOS	M
	CORTOS	C
MANO DE OBRA CALIFICADA	POCOS	P
	NORMALES	N
	MUCHOS	MU

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 21. Factores de zona

USO DE EQUIPOS	POCOS	P
	NORMALES	N
	MUCHOS	MU
MATERIALES DISPONIBLES	ESCASO	E
	NORMALES	N
	ABUNDANTE	A
TRANSPORTE DE MATERIAL	COMPLEJOS	C
	NORMALES	N
	SIMPLES	S

Fuente: Elaboración propia

**INTERPRETACIÓN:**

Tomando como referencia que la vida útil de la obra 50 años, se determinó que la estructura podría ser flexible (gaviones o enrocados, según consideraciones técnicas - económicas) porque su reparación es sencilla, además estas se podrían volverse a armar en caso de fallar para resistir el siguiente evento extremo.

Con respecto al tipo de estructura:

En el caso del enrocado con roca colocada el **proceso constructivo** es simple, el **tiempo de ejecución** es moderada, el **uso de mano de obra calificada** es poca, **el uso de equipos** es moderada, el **uso de materiales disponibles** es abundante (cantera de rocas a 5.5km de la zona critica) y el **trasporte de estos materiales** es normal puesto que los materiales como rocas está presente en la zona.

En el caso gaviones el **proceso constructivo** es simple, el **tiempo de ejecución** es moderada, el **uso de mano de obra calificada** es poca, **el uso de equipos** es moderada, el **uso de materiales disponibles** es abundante (canto rodado se encuentra en la zona y de fácil extracción) y el **trasporte de estos materiales** es simple ya que los materiales como canto rodado está presente en la zona de estudio.

## ELECCIÓN DEL TIPO DE DEFENSA RIBEREÑA

### USO DE REVESTIMIENTO DE TALUD CON ENROCADO CON ROCA COLOCADA

Cuadro N° 22. Pendientes aceptadas para uso de enrocados con roca colocada

PENDIENTES MÁXIMAS NORMALES ACEPTADAS DE UN RIBRERA	
PENDIENTE MÁXIMA ACEPTADA	2H:1V
EN CASO DE UTILIZAR GRANDES BLOQUES SEMIRECTANGULARES	1.5H:1V

Fuente: (AASHTO 2010)

Cuadro N° 23. Pendiente del talud de la ribera en el tramo crítico  
Chayhuamayo - Shucusma

PENDIENTE DEL TALUD DE LA RIBERA EN EL TRAMO CRITICO CHAYHUAMAYO-SHUCUSMA PROGRESIVA 0+0.00 a 0+0.040	0.5H:2V
PENDIENTE DEL TALUD DE LA RIBERA EN EL TRAMO CRITICO CHAYHUAMAYO-SHUCUSMA PROGRESIVA: 0.040 a 0+060	2H:0.3V

Fuente: Elaboración propia

### **INTERPRETACIÓN**

En el tramo crítico Chayhuamayo - Shucusma progresiva 0+0.000 a 0+060, no se encuentra en el rango de pendiente máxima normalmente aceptable de una ribera para la colocación de enrocado, también la topografía no se adapta para este tipo de protección (ver fotografías del anexo N° 01) y al tratar de conseguir la pendiente deseada del talud de la ribera se llegaría a un estrechamiento excesivo del cauce del río en la progresiva 0+000 a 0+040 y no sería compatible con la tendencia natural del curso de agua, por otro lado en la progresiva 0+040 a 0+060 necesariamente se tendría que construir un dique para posterior revestirlo con roca colocada y esto sería más costosa, en consecuencia este tipo de propuesta no cumple con el análisis técnico-económico.

### **USO DE MURO DE GAVIONES**

### **CALCULO ESTRUCTURAL**

### **PREDIMENSIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS**

Tramo: 60m en el margen derecho de río San Fernando.

Para el cálculo de la altura del muro de gavión se ha considerado el nivel de agua de máxima avenida para el período de diseño considerado más el borde libre que a continuación de detalla:

- Caudal de máxima avenida (Q)=68.04m<sup>3</sup>/s

- Nivel de agua de máxima avenida (Y)=1.29m (presente en la sección 4 progresiva 0+045)
- Velocidad media de máxima avenida (V)= 4.52m/s
- Profundidad de socavación 1.30m

Cuadro N° 24. Altura total del muro de gavión

Altura Total de la Estructura ( Ht )			
Tirante Hidráulico del Río	t	(m)	1.29
Profundidad de socavación		(m)	1.30
Borde Libre	BL	(m)	0.60
Altura Total de la Estructura	Ht	(m)	2.00

Fuente: elaboración propia

#### 4.1.3.1. EVALUACIÓN TECNICA

##### ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL MURO DE GAVIÓN

Los muros de gaviones son estructuras de gravedad y su diseño sigue la práctica standard de la ingeniería. Es necesario conocer las características del material del muro, condiciones del terreno sobre el cual van sustentadas y los factores de seguridad. Ver cuadro N° 25

Cuadro N° 25. Datos para verificación de estabilidad

DATOS PARA VERIFICACIONES DE ESTABILIDAD		
Peso específico del material del muro (roca)	2400.00	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico del material del río	1850.00	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico de agua	1000.00	kg/m <sup>3</sup>
Capacidad portante del terreno	2.26	kg/cm <sup>2</sup>
Ángulo de fricción interna del terreno $\phi$	27.90	°
Ángulo formado por plano de empuje y horizontal $\beta$	90.00	°
Ángulo del talud del material sobre el muro $\alpha$	0.00	°
Factor de seguridad de volteo	2.00	F.V
Factor de seguridad de deslizamiento	2.00	F.D
Longitud de la base	3.00	m
Altura del muro de gavión	2.00	m

Fuente: elaboración propia

**a) Verificación de estabilidad por desplazamiento. Ver cuadro N° 27**

En primer lugar se calculara las fuerzas verticales. Ver cuadro N° 26 y el empuje activo.

Cuadro N° 26. Cálculo de las fuerzas verticales

PESO DE BLOQUES DE GAVION				$W = \gamma_{ROCA} \cdot V \cdot (0.8)$
	ANCHO	LARGO	ALTO	Kg
1RA CAMADA	1.50	1.00	1.30	3744.00
	1.50	1.00	1.30	3744.00
2DA CAMADA	1.00	1.00	1.00	1920.00
	1.00	1.00	1.00	1920.00
SUMATORIA DE FUERZAS VERTICALES (peso de la estructura por metro lineal)				11328.00

Fuente: elaboración propia

Cuadro N° 27. Cálculo de empujes activos y verificación por deslizamiento

Empuje activo del agua, empuje activo del suelo y verificación por deslizamiento Teoría de Coulomb ( $F_1 = \frac{1}{2} H^2 k_a / 2$ ), ( $k_a = \tan^2(45 - \phi/2)$ )		
Empuje activo del suelo	(kg)	1233.33
Empuje activo del agua	(kg)	405.00
Empuje activo resultante $E_a$	(kg)	828.33
$FSD = \frac{\sum V \tan(K1 * \phi)}{E_a h}$		7.24 > 2 CUMPLE

Fuente: elaboración propia

**b) Verificación de estabilidad por volcamiento**

Para la verificación por volcamiento se calculó el momento de estabilidad ver cuadro N° 28 y luego el momento por volcamiento.

Cuadro N° 28. Cálculo de momentos de estabilidad

PESO (KG)		BRAZO DE GIRO (M)	Me (kg.m)
1RA CAMADA	3744	0.75	2808.00
	3744	2.25	8424.00
2DA CAMADA	1920	1.50	2880.00
	1920	2.50	4800.00
11328			18912.00

Fuente: elaboración propia

Cuadro N° 29. Cálculo de momentos por volcamiento y verificación por volcamiento

Momento por volcamiento del agua, momento por volcamiento del suelo y verificación por volcamiento ( $M_o = E_a \cdot Y_c$ ), $Y_c =$ distancia al centro de gravedad del empuje activo		
Momento por volcamiento de agua	(kg.m)	929.11
Momento por volcamiento del suelo	(kg.m)	182.25
Empuje activo resultante $E_a$	(kg)	746.86
$F_{sv} = \frac{M_e}{M_o} > 2$		25.32 > 2 CUMPLE

Fuente: elaboración propia

**c) Chequeo de presión sobre el terreno**

Para esta verificación se tendrá en cuenta los siguientes: punto de aplicación de la normal, cálculo de la excentricidad. Ver cuadro N° 30

Cuadro N° 30. Chequeo de presión sobre el terreno

<b>Cheque de presión sobre el terreno</b> <b>N=Sumatoria de fuerzas verticales, B=Longitud de la base del muro y A=Área de la base del muro</b>			
Punto de aplicación de la normal	X (m)	$X \cdot N = M_e - M_o$	1.615
Cálculo de la excentricidad	e (m)	$e = \frac{B}{2} - x < \frac{B}{6}$	-0.115
Chequeo de presión sobre terreno	$\sigma_1 \sigma_2$	$\sigma_1 \sigma_2 = \frac{(W_T + W_1 + W_2)}{A} \left( 1 \pm \frac{6e}{B} \right)$	$\sigma_1 = 0.464$ $\sigma_2 = 0.291$

Fuente: elaboración propia

## INTERPRETACIÓN

Del cuadro N° 27. Se observa que F.S.D = 7.24 > 2. Por lo tanto cumple la norma, lo que indica que la estructura no fallará por deslizamiento.

Del cuadro N° 29. Se observa que F.S.V = 25.32 > 2. Por lo tanto cumple la norma, lo que indica que la estructura no fallará por volamiento.

Del cuadro N° 30. Podemos observar que ( $e < B/6$ ,  $-0.115 < 0.5$ ) lo que indica que no existe tracción, también se observar que hay un esfuerzo de compresión máxima de 0.464kg/cm<sup>2</sup>, un valor por debajo de la capacidad portante de terreno 2.26kg/cm<sup>2</sup>, por lo que no habrá falla por asentamiento.

A partir de los resultados de los cuadros anteriores, teniendo en cuenta los esfuerzos de cortes y el nivel de agua en máximas avenidas, será necesario instalar el gavión con las siguientes características:

- Gavión caja de 0.50m de altura, para el colchón reno (anti socavamiento).
- Gaviones caja fuerte distribuidos como se muestra en el plano PL-01, que alcancen una altura de 2.0m, debido a que la altura máxima alcanzada cuando se transita el caudal máximo es 1.38m.

- Los gaviones caja deben ser plastificados, cuyas especificaciones se muestran en el plano PD-01.
- El diámetro de las rocas de relleno debe tener una granulometría entre 120 @ 250mm, con un D50 igual a 190mm.
- El análisis de estabilidad, para una sección típica. Se presenta en el análisis hidráulica fluvial, para una situación pseudo estática, en la que se obtienen resultados aceptables de factores de seguridad al deslizamiento y al vuelco mayores que 2.

**Tabla Nº 11.** Cuenta la estructura de gaviones con desgaste

Cuenta la estructura con desgaste						
		Xi	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	No	01	11	84.62	84.62	84.62
	Si	02	2	15.38	15.38	100,0
	<b>Total</b>		13	100,0	100,0	

**Fuente:** Propia

**Tabla Nº 12.** Estadística 03

Estadísticos		
Cuenta la estructura de gaviones con desgaste		
N	Válidos	13
	Perdidos	0
Media		1,11
Mediana		1,00
Moda		1
Desv. Típ.		0,315
Varianza		0,099

## INTERPRETACIÓN

No cuenta la estructura con desgaste, la tabla de frecuencia nos dice; 84.62% dice que no y solamente el 15.38% nos dice que sí, con respecto a las medidas de tendencia central es de 1.11% mediana 1.00 igualmente para la moda, mediana y media obtiene una valor de 1, con una varianza de 0.99

## ANALISIS DE COSTOS DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCION – PRESUPUESTO REFERENCIAL

### DEFENSAS RIBEREÑAS CON EL USO DE MURO DE GAVIONES

Los precios unitarios utilizados en cada una de las partidas incluyen la mano de obra (peón y capataz), herramientas manuales (5% de la mano de obra) y el equipo pesado de volquete. El cuadro N° 31 representa cada uno de las partidas empleadas, la unidad de medida y los metrados para una longitud de 50m ver Anexo N° 07

Cuadro N° 31 Presupuesto referencial – defensa ribereña con uso de muro de gaviones. Fuente: Elaboración propia

Partida N°	ESPECIFICACIONES	Und	Metrado	Precio S/	Parcial S/
<b>01.00.00</b>	<b><u>OBRAS PROVINCIONALES</u></b>				<b>740.90</b>
01.01.00	Cartel de identificación de la obra de 3.60 m x 2.40 m	Und	1.00	530.90	530.90
01.02.00	Alquiler de oficina y almacén para la obra	glb	1.00	210.00	210.00
<b>02.00.00</b>	<b><u>OBRAS PRELIMINARES</u></b>				<b>267.60</b>
02.01.00	Trazo y Replanteo durante la obra	ml	60.00	4.46	267.60
<b>03.00.00</b>	<b><u>MOVIMIENTO DE TIERRAS</u></b>				
03.01.00	<b>Excavación de plataforma y perfilado de talud ( A mano )</b>	m3			<b>2414.35</b>
03.01.01	Excavación de plataforma en roca suelta ( a mano )	m3	120.00	17.79	2134.80
03.01.02	Conformación de plataforma o terraplén con material propio	m3	45.00	4.30	193.50
03.01.03	Refine y perfilado de talud para enrocado	m3	8.50	1.06	9.01
03.01.04	Excavación de colchón anti socavamiento 5.0 x 1.20 x 0.30	m3	18.00	4.28	77.04
<b>04.00.00</b>	<b><u>OBRAS ESTRUCTURALES</u></b>				
04.01.00	<b>Recolección y Apilamiento de roca de 120 mm - 250mm</b>				<b>4434.58</b>
04.01.01	Gaviones de caja 5.0 x 1.50 x 1.30	m3	179.40	15.40	2762.76
04.01.03	Gaviones de caja 5.0 x 1.00 x 1.00	m3	92.00	15.40	1416.80
04.01.04	Colchón anti socavamiento 5.0 x 1.20 x 0.30	m3	16.56	15.40	255.02
04.02.00	<b>Muro de gaviones de caja con alambre galvanizada de 3.40mm con recub PVC</b>				<b>29781.12</b>
04.02.01	Muro de gaviones de caja 5.0 m x 1.50 m x 1.30 m ( ZN + AL + PVC )	m3	179.40	87.68	15729.79
04.02.02	Muro de gaviones de caja 5.0 m x 1.00 m x 1.00 m ( ZN + AL + PVC )	m3	92.00	116.10	10681.20
04.02.03	Colchón antisocavante 5.0 m x 1.20 m x 0.30 m ( ZN + AL + PVC )	m3	16.56	203.51	3370.13
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>37638.55</b>

## DEFENSAS RIBEREÑAS CON EL USO ENROCADO CON ROCA COLOCADA

Los precios unitarios utilizados en cada una de las partidas incluyen la mano de obra (peón, operario y capataz), herramientas manuales (5% de la mano de obra) y los equipos pesados (volquete, cisterna, excavadora, etc.) utilizados. En el cuadro N° 32 se representa las partidas empleadas, la unidad de medida y los metrados para el presupuesto referencial para una longitud de 50m. Ver Anexo N° 07

Cuadro N° 32 Presupuesto referencial – defensa ribereña uso de  
enrocado con roca colocada

Partida N°	ESPECIFICACIONES	Und	Metrado	Precio S/	Parcial S/
01.00.00	<b>OBRAS PROVICIONALES</b>				<b>740.90</b>
01.01.00	Cartel de identificación de la obra de 3.60 m x 2.40 m	Und	1.00	530.90	530.90
01.02.00	Alquiler de oficina y almacén para la obra	glb	1.00	210.00	210.00
02.00.00	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>				<b>3827.60</b>
02.01.00	Trazo y Replanteo durante la obra	ml	60.00	4.46	267.60
02.01.00	Movilización y desmovilización de maquina	glb	1.00	3560.00	3560.00
03.00.00	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>2185.99</b>
03.01.00	Excavación de uña de talud	m3	267.75	6.28	1681.47
03.02.00	Conformación de plataforma o terraplén con material propio	m3	50.00	6.30	315.00
03.03.00	Refine y perfilo de talud para enrocado	m2	92.00	2.06	189.52
04.00.00	<b>ENROCADO DE PROTECCION</b>				<b>28700.16</b>
04.01.00	Extracción de roca en cantera	m3	253.725	25.41	6447.15
04.02.00	selección y acopio de roca en cantera	m3	253.725	20.24	5135.39
04.03.00	carguío de roca en cantera	m3	253.725	15.09	3828.71
04.04.00	transporte de roca	m3	253.725	38.15	9679.61
04.05.00	colocación y acomodo de rocas en uña de dique	m3	148.7500	13.97	2078.04
04.06.00	colocación y acomodo de rocas en talud de dique	m3	104.3800	14.67	1531.25
05.00.00	<b>MITIGACIÓN AMBIENTAL</b>				<b>3007.02</b>
05.01.00	Regado de vías de acceso hasta 5km	vje	6.00	360.07	2160.42
05.02.00	Limpieza y restauración de patio de maquinas	m2	60.00	5.11	306.60
05.03.00	revegetación y/o reforestación de áreas verdes en cantera	ha	0.30	1800.00	540.00

**COSTO DIRECTO S/**

**38461.67**

Fuente. Elaboración propia

## INTERPRETACIÓN

Cuadro N° 33. Comparación de alternativas de solución

ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN	COSTO REFERENCIAL S/
MURO DE GAVIONES	37638.55
ENROCADO CON ROCA COLOCADA	38461.67

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro anterior se puede identificar que la alternativa con enrocado con roca colocada es ligeramente más costosa debido principalmente:

- Que en la zona no existe material y la única forma de conseguir el material es con explotación de una cantera que queda a unos 5.5km de la zona de estudio.
- También el precio se incrementa por el uso de maquinaria pesada (volquete, cargador frontal y cisterna), tanto como en el transporte y extracción de las rocas.

Por otra parte se puede identificar que la alternativa de muro de gaviones es ligeramente menos costosa debido principalmente a:

- Que el personal empleado en su mayoría es mano de obra no calificada. Por lo que se generaría mayor empleo a los pobladores de cercamos a la zona.
- Que la alternativa de muro de gaviones usan recursos que se encuentran en la zona de estudio.
- El uso de maquinaria pesada es mínima.
- El impacto ambiental generado es mínimo por lo que la mitigación de estos impactos ambientales negativos es menos costosa.

## 4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS

### PRUEBA DE LAS HIPÓTESIS

#### HIPÓTESIS GENERAL.

H.G.: “La interposición de un elemento estructural de muro de gaviones entre la orilla y la corriente de agua previene y controla significativamente el deterioro de las riberas del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma”.

#### Cálculo del Estimado Puntual o Centrado: PRUEBA DE HIPÓTESIS

$$P(\bar{X} - E_0 \leq \mu \leq \bar{X} + E_0) = 1 - \alpha; \quad E_0 = \frac{Z_0 \cdot \delta}{\sqrt{n}}$$

$$1.9689 \leq \mu \leq 2.1311$$

**Cálculo de  $Z_0$ :**  $Z_0 = 1.96$

**Reemplazando:**  $\mu = 1.9$

#### Prueba de Hipótesis concerniente a la Media Poblacional:

$$H_0 : \mu = 1.9$$

$$H_1 : \mu \neq 1.9$$

$H_0$  = No, la interposición de un elemento estructural de muro de gaviones entre la orilla y la corriente de agua previene y controla significativamente el deterioro de las riberas del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma.

$H_1$  = Si, La interposición de un elemento estructural de muro de gaviones entre la orilla y la corriente de agua previene y controla significativamente el deterioro de las riberas del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma.

### Regla de Decisión

Se rechaza  $H_0$  si:

$$t > -t_{1-\alpha} \text{ (gl)}$$

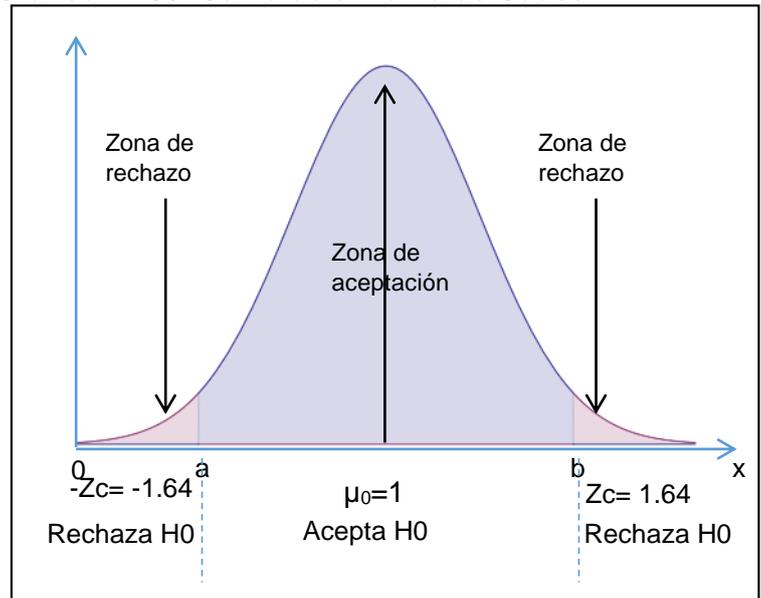
### Cálculo de "t"

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad t = 14.46$$

### Cálculo de $t_c$ :

$$t_{1-\alpha} \text{ (gl)} \quad t_c = 1.64$$

**Grafico N° 06: Curva de simetría de Gauss**



### Decisión:

$$t > -t_{1-\alpha} \text{ (gl)}$$

$$14.46 > 1.64$$

### Interpretación:

Se acepta la  $H_1$ : "Si, La interposición de un elemento estructural de muro de gaviones entre la orilla y la corriente de agua previene y controla significativamente el deterioro de las riberas del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma." y se rechaza la  $H_0$ ; debido a que el valor de  $t_c = 1.64$ , se encuadra en la zona de rechazo derecha e izquierda de la Curva Simétrica de Gauss.

## HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.

H. Es.: “El caudal máximo incide significativamente en el deterioro de la ribera del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma”.

### Cálculo del Estimado Puntual o Centrado: PRUEBA DE HIPÓTESIS

$$P(\bar{X} - E_0 \leq \mu \leq \bar{X} + E_0) = 1 - \alpha; \quad E_0 = \frac{Z_0 \cdot \delta}{\sqrt{n}}$$

$$2.0416 \leq \mu \leq 2.1784$$

Cálculo de  $Z_0$  :  $Z_0 = 1.96$

Reemplazando :  $\mu = 2.0$

### Prueba de Hipótesis concerniente a la Media Poblacional:

$$H_0 : \mu = 2.0$$

$$H_1 : \mu \neq 2.0$$

$H_0$  = No, el caudal máximo incide significativamente en el deterioro de la ribera del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma.

$H_1$  = Si, el caudal máximo incide significativamente en el deterioro de la ribera del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma.

### Regla de Decisión

Se rechaza  $H_0$  si:

$$t > -t_{1-\alpha} \text{ (gl)}$$

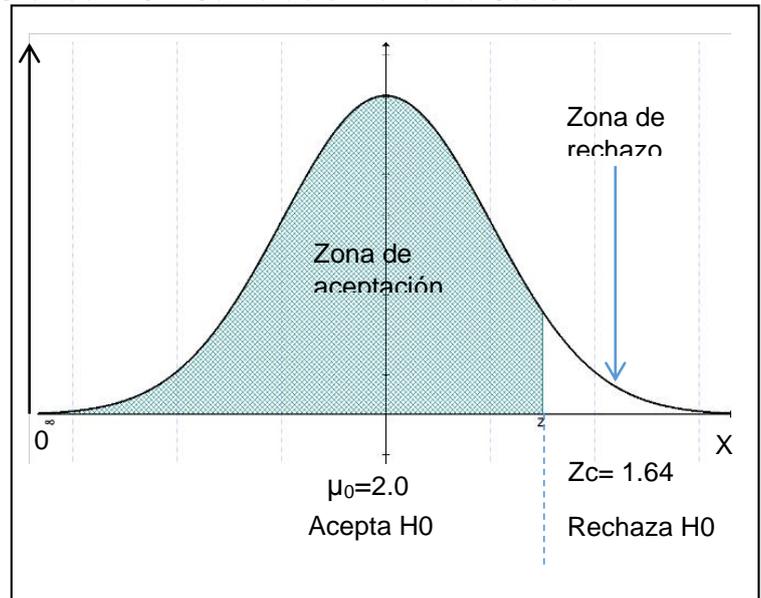
### Cálculo de "t"

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad t = 3.14$$

### Cálculo de $t_c$ :

$$t_{1-\alpha} \text{ (gl)} \quad t_c = 1.64$$

**Grafico N°07: Curva de simetría de Gauss**



### Decisión:

$$t > -t_{1-\alpha} \text{ (gl)}$$

$$3.14 > 1.64$$

### Interpretación:

Se acepta la  $H_1$ : "el caudal máximo incide significativamente en el deterioro de la ribera del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma" y se rechaza la  $H_0$ ; debido a que el valor de  $t_c = 1.64$ , se encuadra en la zona de rechazo derecha de la Curva Simétrica de Gauss. (Coeficiente de Pearson).

H. Es.: “las velocidades de flujo y esfuerzo cortantes indican significativamente en el deterioro de la ribera del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma”.

### **Cálculo del Estimado Puntual o Centrado: PRUEBA DE HIPÓTESIS**

$$P(\bar{X} - E_0 \leq \mu \leq \bar{X} + E_0) = 1 - \alpha; \quad E_0 = \frac{Z_0 \cdot \delta}{\sqrt{n}}$$

$$2.0656 \leq \mu \leq 2.858$$

**Cálculo de  $Z_0$**  :  $Z_0 = 1.96$

**Reemplazando** :  $\mu = 2.0$

### **Prueba de Hipótesis concerniente a la Media Poblacional:**

$$H_0 : \mu = 2.0$$

$$H_2 : \mu \neq 2.0$$

$H_0$  = No, las velocidades de flujo y esfuerzo cortante inciden significativamente en el deterioro de la ribera del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma.

$H_2$  = Si, las velocidades de flujo y esfuerzo cortante inciden significativamente en el deterioro de la ribera del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma.

### Regla de Decisión

Se rechaza  $H_0$  si:

$$t > -t_{1-\alpha} \text{ (gl)}$$

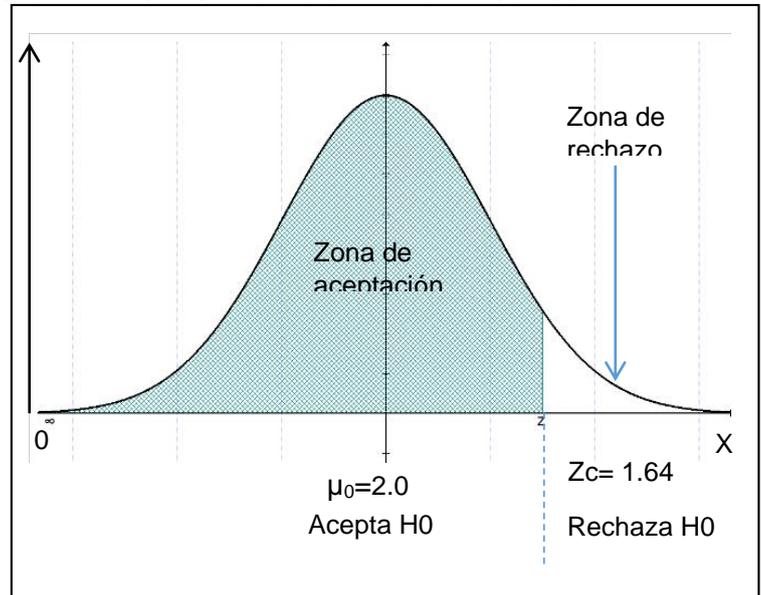
### Cálculo de "t"

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad t = 3.27$$

### Cálculo de $t_c$ :

$$t_{1-\alpha} \text{ (gl)} \quad t_c = 1.64$$

Grafico N°07: Curva de simetría de Gauss



### Decisión:

$$t > -t_{1-\alpha} \text{ (gl)}$$

$$3.27 > 1.64$$

### Interpretación:

Se acepta la  $H_1$ : "el caudal máximo incide significativamente en el deterioro de la ribera del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo - Shucusma" y se rechaza la  $H_0$ ; debido a que el valor de  $t_c = 1.64$ , se encuadra en la zona de rechazo derecha de la Curva Simétrica de Gauss. (Coeficiente de Pearson).

## DISCUSIÓN

### 1. Caudal máximo

La información hidrológica es escasa o nula en la zona del proyecto. Al no contar con registros de precipitación y registros de caudales máximas ya que en la zona de estudio y en general en la región de ceja de selva se cuenta con escasa información meteorológicas a diferencia de otras regiones. Sin embargo el cálculo del caudal de diseño se realizó por el método de caudal instantáneo (formula de Fuller) recomendado por el Programa de Encauzamiento de Ríos y Protección de Estructuras de captación – PERPEC de la Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales – ANA que tiene como fundamento teórico a LINSLEY-KOHLER (HIDROLOGÍA PARA INGENIEROS).

**CISNEROS, CH. Y PRADO, R.L. TESIS: “ESTUDIO DE ENCAUZAMIENTO Y DISEÑO DE DEFENSAS RIBEREÑAS EN EL RÍO REQUE”.** Proponen que es conveniente el empleo de los métodos de Gumble y Log-Pearson III para determinar el caudal máximo promedio en la zona de Carhuaquero. Ya que en la zona de estudio se cuenta con información meteorológica.

**BUSTAMANTE HERNÁNDEZ, Juan Manuel,** presentó la tesis “**Estudio de encauzamiento y defensas ribereñas en el río Chancay-Lambayeque sector centro poblado “Rinconazo Tuman” Perú 2011.** Abordo el problema de efectos negativos de las inundaciones que en algunos casos llegaron a destruir áreas de cultivo, así como el colapso de la infraestructura de riego y vías de comunicación. Para el desarrollo de este trabajo determino la descarga máxima con información hidrométrica de la estación de aforos de la bocatoma Racarumi - Río Chancay. Se utilizaron los registros o datos históricos de descargas desde el año 1914 al año 2005 (92 años) y así determinar las curvas de frecuencia de descargas para hallar el período de retorno medio que transcurre entre dos avenidas

## **2. Estimación de velocidad de flujo y esfuerzo cortante.**

Velocidad de flujo de agua

Respecto a la velocidad máxima del flujo 2.59m/s en el margen derecho donde se produce el desborde del flujo de agua, Algunos autores relacionan la erosión directamente con la velocidad del agua, y suponen que existe una velocidad crítica a la cual se inicia el movimiento de las partículas de suelo. JAIME SUÁRES DÍAZ (2011) menciona. La resistencia que ejerce una superficie de suelo al flujo de agua depende de la rugosidad de esta superficie. La rugosidad a su vez depende del tamaño y forma de las partículas así como de las características del flujo. No existe un sistema preciso y confiable de determinar la rugosidad y pérdida de energía del flujo. La mayoría de los métodos conocidos son empíricos. El sistema más utilizado universalmente es el de los coeficientes de Manning.

Esfuerzos cortantes

JAIME SUÁRES DÍAZ (2011) menciona. Así como el agua ejerce una fuerza tractiva sobre las partículas de suelo a su vez el suelo trata de resistir esa fuerza de corte. Cada suelo tiene una tensión critica máxima  $\tau_c$  o resistencia máxima a la fuerza tractiva.

Respecto al esfuerzo de corte máximo de 80.27N/m<sup>2</sup> en el margen derecho del rio donde se produce el desborde del flujo de agua, el esfuerzo critico de iniciación de movimiento mediante fórmula de Shields. Puede mover partículas inferiores a  $D = 0.10m$  MATOS. E (2011) indicado que este diámetro de partículas tiene un esfuerzo de corte crítico de iniciación de movimiento  $(\tau_0)_c$  es de 99N/m<sup>2</sup>

## **3. Evaluar técnica y económicamente las propuesta de prevención y control de erosión en la ribera del rio San Fernando**

### **Evaluación técnica-económica**

Respecto a la evaluación técnica-económica, se evaluó a las propuestas de solución de muro de gaviones, enrocado con roca colocada, muro de

concreto armado y prefabricados de concreto en función a factores propios (procesos constructivos, tiempo de ejecución, uso de mano de obra calificada y uso de equipos) y factores de zona (materiales disponibles y transporte) TORRES FERNÁNDEZ, JESÚS. (2012). Sustento: USO DE LOS GEOSINTÉTICOS EN DEFENSAS RIBEREÑAS DE LOS RIOS DE LA SELVA BAJA, proponiendo la elección de una alternativa que mejor se ajuste a las características de la zona de estudio llegando a la conclusión que las alternativas que generan menor presupuesto son las que usan recursos que se encuentran en la zona de estudio. Siendo para nuestro caso un muro del tipo flexible.

### **Control de erosión en las riberas de ríos**

Para la elección del método de protección de riberas de ríos se tomó en cuenta la funcionalidad que esta estructura de protección cumplirá en la zona de estudio al observar la simulación de flujo de agua con un caudal de diseño de  $68.04\text{m}^3/\text{s}$ , el tramo en estudio queda desbordada por el margen derecho. JAIME SUÁREZ (2001) establece dos métodos de protección de riberas de río interposición de un elemento que evite la erosión entre la orilla y la corriente de agua y disminución de la capacidad erosiva de la corriente de agua. Considerando entonces la protección de la ribera del río San Fernando por el método de interposición de un elemento que evite la inundación - erosión entre la orilla y la corriente de agua (estructura de protección de márgenes muro de gaviones)

- Muro de contención (gaviones)

El diseño estructural del muro de contención se realizó por el método de Coulomb, que considera que siempre existe fricción entre el respaldo del muro y el suelo, si éste es friccionante. El empuje de tierras se determina considerando una cuña de suelo limitada por el respaldo, la superficie del relleno y una superficie teórica de falla supuestamente plana, desarrollada dentro del relleno. Utilizando factor de seguridad de deslizamiento  $F_s > 2$  y factor de seguridad de volcamiento  $F_v > 2$  Jorge E (1998) "Diseño De Muro De Contención.

Los métodos de diseño se basarán en los indicados en las Normas Chilenas oficiales vigentes, y otros documentos de referencias, tales como ACI, AASHTO, ASCE, u otro que el profesional responsable del proyecto de diseño establezca

## CONCLUSIONES

1. Se determinó que el sistema de interposición de una estructura de muro de gaviones previene y controla la erosión de taludes en la ribera del río San Fernando.
  - Ya que el muro de gaviones cumple con las condiciones técnicas: análisis de estabilidad para un factor de seguridad mayor a 2.
  - Y económicas, ya que este requiere poca mano de obra calificada, uso de maquinaria pesada mínima, los materiales pétreos a utilizar se encuentra presente en la zona de estudio haciendo menos costosa en comparación al uso de enrocado colocado.
2. Se llegó a determinar el caudal máximo  $10.13\text{m}^3/\text{s}$  por el método de medición in-situ en épocas de máximas avenidas, para luego determinar el caudal de diseño por el método de Fuller  $68.04\text{m}^3/\text{s}$ , influyendo este caudal significativamente en el desborde del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo – Shucusma.
3. Se llegó a determinar las características mecánicas del suelos, encontrando material de grava mal graduada GP-GC, cuya cohesión es de  $0.40\text{Tn}/\text{m}^2$  y su ángulo de fricción es de  $27.9^\circ$
4. Se llegó estimar la velocidad y esfuerzo cortante del río cuando esta queda desbordada por el margen derecho, obteniendo una velocidad máxima de  $2.59\text{m}/\text{s}$  y un esfuerzo cortante máximo de  $80.27\text{N}/\text{m}^2$ , influyendo significativamente en el deterioro de la ribera del río San Fernando tramo Chayhuamayo – Shucusma.

## RECOMENDACIONES

1. Utilizar un período de retorno de 50 años al momento de realizar el análisis del tránsito de flujo de agua a través del canal del tramo de estudio, ya que existe mayor probabilidad de fallar de 63.58%.
2. Tener en cuenta que la roca a ser usada debe ser: de buena calidad, densa, tenaz, durable, sana, sin defectos que afecten su estructura, libre de grietas y sustancias extrañas adheridas e incrustaciones cuya posterior alteración pudiera afectar la estabilidad de la obra.
3. Considerar soluciones de ingeniería que se tome en cualquier proyecto, se debe de considerarse el uso de materiales existente en la zona de estudio, ya que de esta forma el costo de la obra se reducirá.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Wendor Chereque M (2000): Hidrología para estudiantes de ingeniería civil.
2. Barboza Cabrera, Segundo (2008): Informe de Ingeniería "Defensa Ribereña y Encauzamiento del río Chaman-Sector Huacablanca". Carretera Panamericana Tramo II.
3. Blair Enrique F. (2006): "Manual de Riesgo y Avenida"
4. Cueva Moscol Elvis Y Panta Monteza José (2006): Tesis: "Estudio Definitivo de Encauzamiento y Diseño de Defensas Ribereñas en el río Motupe - Sector Pueblo Joven el Salvador.
5. Cisneros Chicoma A. Y Prado Ribera, L (2008): Tesis: "Estudio De Encauzamiento Y Diseño De Defensas Ribereñas En El Río Reque".
6. Hernandez Sampiere Roberto, Cardiel López Nicolás Carlos (2006). Metodología De La Investigación.
7. Jaime E Ca Margo Hernández y Víctor Franco (2005): Manual De Gaviones.
8. Jaime Suárez Díaz (2001): Control de Erosión en Zonas Tropicales.
9. Linsley Ray K. Y Joseph B. Franzini (2008): "Ingeniería de Recursos Hidráulicos".
10. Linsley, Kohler, Paulus: "Hidrología para Ingenieros" – Segunda Edición. Editorial Mc Graw-Hill Latinoamericana S.A.
11. Maccaferri (2007): "Gaviones y Revestimientos".
12. Paulet I. Manuel (2009): "Análisis de Frecuencias de Fenómenos en Hidrología – Método de Gumble".

13. Perpec III: "Encauzamiento Del Río Chancay - Sector Tabacal-Las Minas (2006)". Expediente Técnico, Chiclayo-Lambayeque, 92 páginas. Período agosto a diciembre 2000.
14. Reyes Salazar, Jorge (2008). Curso: "Diseño de Obras Hidráulicas Menores". Colegio de Ingenieros del Perú.
15. Teran, Ruben (2008): "Diseño y Construcción de Defensas Ribereñas".
16. Ministerio De Agricultura Y Autoridad Nacional Del Agua (2010). Tratamiento de Cauce del Río para el control de Inundaciones en la Cuenca Chicama.
17. Lozano Núñez Hugo R. (2011). El Proyecto de Investigación en la Carrera de Ingeniería.
18. Jorge E (1998) "Diseño De Muro De Contención". UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIAS.