



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**“PROPUESTA Y DISEÑO DE DEFENSA RIBEREÑA DE
ENROCADO EN EL RÍO COATA - PUNO - 2019”**

PRESENTADA POR EL BACHILLER

JOSÉ LUIS HUARICCALLO MAQUERA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERU

JULIO, 2019

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**"PROPUESTA Y DISEÑO DE DEFENSA RIBEREÑA DE ENROCADO
EN EL RÍO COATA - PUNO - 2019"**

PRESENTADA POR

JOSÉ LUIS HUARICCALLO MAQUERA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE



B.S. GERMAIN BELIZARIO QUISPE

PRIMER MIEMBRO



M.Sc. Ing. ALCEDO HÉCTOR CALDERÓN
MONTALICO

SEGUNDO MIEMBRO



Mg. Ing. NESTOR ALEJANDRO CRUZ CALAPUJA

ASESOR DE TESIS



Mg. Ing. EULISTO ALAN LAZARTE VELARDE

08 de Julio de 2019.

DEDICATORIA

A mi amor Milagros y a mi princesa Karen Yasmin, quienes cada día me animaron que culmine con éxito esta meta tan esperada.

A mis padres por compartir su alegría y tristeza en mis momentos de alegría y momentos difíciles.

A mis familiares por el ánimo que me dieron, quienes lograron ayudarme para terminar este nuevo triunfo en mi vida.

A las personas que en algún momento me apoyaron para el cumplimiento de esta meta

JOSE LUIS H. M.

AGRADECIMIENTO

A nuestro padre celestial por la por darme la oportunidad de estudiar con fortaleza y salud para cumplir los objetivos trazados en el estudio.

A la Universidad Alas Peruanas, específicamente a la E.A.P.I.C. por brindarme la formación académica profesional tan anhelada.

A los educandos de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil por compartir las experiencias e instrucciones en el área de Ingeniería y brindarme como profesional para que en el futuro contribuyamos el desarrollo de nuestro país.

JOSE LUIS H.M.

RESUMEN

- La presente investigación se realiza en vista que el problema general es el desborde del río Coata en el sector Llucco, por la erosión de taludes y la incapacidad de su sección en el cauce para sujetar el caudal que se muestra durante periodos de máximas avenidas. El objetivo general es proponer y diseñar una estructura de defensa ribereña en río Coata para el trayecto del sector Llucco. La investigación es aplicada, investigación cuantitativa, diseño no experimental, población de 667 metros de ribera del río Coata en el tramo Llucco. Las conclusiones son: se determinó las descargas máximas por ocho métodos estadísticos: distribución Normal; distribución Log-Normal de 2 parámetros; distribución Log-Normal de 3 parámetros; distribución Gamma de 2 parámetros; distribución Gamma de 3 parámetros o Pearson tipo III; Distribución Log-Pearson tipo III; Distribución Gumbel; Log-Gumbel. De los cuales se tomó la media aritmética que corresponde a $Q_{Máx.} = 770.385 \text{ m}^3/\text{s}$, con el que se diseñó la defensa ribereña de enrocado con el Software RIVER. Obteniendo los siguientes parámetros para el margen izquierdo: ancho de coronad e 4.00m.; base del dique de tierra de 15.37m.; altura de dique de 3.70m.; altura de enrocado de 3.70m.; altura de enrocado de uña de 3.20m.; ancho de base enrocado de uña de 4.80m.; altura total de 6.90m.; inclinación de talud H=2.0 y V=1.0 de área mojada y seca con un recubrimiento de enrocado de 1.2m.; borde libre de 0.96m. Las dimensiones del dique para el margen derecho son: ancho de corona de 4.00m.; base del dique de tierra de 18.8m.; altura de dique de 3.70m.; altura de enrocado de 3.70m.; una inclinación de talud de H=2.0 y V=1.0 de perfil húmeda y seca con un recubrimiento de enrocado de 0.5m.; borde libre de 0.96m.

SUMMARY

- The present investigation is carried out in view that the general problem is the overflow of the Coata River in the Llucco sector, due to the erosion of slopes and the inability of its section in the channel to hold the flow that is shown during periods of maximum flooding. The general objective is to propose and design a river defense structure on the Coata River for the route of the Llucco sector. The research is applied, quantitative research, non-experimental design, population of 667 meters on the banks of the Coata River on the Llucco stretch. The conclusions are: the maximum discharges were determined by eight statistical methods: Normal distribution; Log-Normal distribution of 2 parameters; 3-parameter Log-Normal distribution; 2-parameter Gamma distribution; 3-parameter Gamma distribution or Pearson type III; Log-Pearson type III distribution; Gumbel distribution; Log-Gumbel. Of which the arithmetic average corresponding to $Q_{Max} = 770.385 \text{ m}^3 / \text{s}$ was taken, with which the riparian fender defense was designed with the RIVER software. Obtaining the following parameters for the left margin: crown width and 4.00m .; base of the dike of earth of 15.37m .; 3.70m dike height; 3.70m castling height .; 3.20m nail climbing height; base width of 4.80 m rocker; 6.90m total height; slope slope $H = 2.0$ and $V = 1.0$ of wet and dry area with a casting covering of 1.2m .; Free edge of 0.96m. The dike dimensions for the right margin are: crown width of 4.00m .; base of the 18.8m earth dam; 3.70m dike height; 3.70m castling height .; a slope slope of $H = 2.0$ and $V = 1.0$ of wet and dry profile with a casting coating of 0.5m .; Free edge of 0.96m.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	7
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	8
1.1. Descripción de la realidad problemática	8
1.2. Demarcación de investigación	9
1.2.1. Espacial.....	9
1.2.2. Temporal	10
1.3. Planeamiento de problema	10
1.3.1. General	10
1.3.2. Específicos.....	11
1.4. Objetivos.....	11
1.4.1. General	11
1.4.2. Específicos.....	11
1.5. Formulación de hipótesis.....	12
1.5.1. General	12
1.5.2. Específicas	12
1.6. Variables de investigación y operacionalización.....	12
1.6.1. Independiente:	12
1.6.2. Dependiente:.....	13
1.7. Diseño de investigación.....	13
1.7.1. Tipo	13
1.7.2. Nivel	13

1.7.3.	Método	14
1.7.4.	Diseño	14
1.8.	Población y muestra	14
1.9.	Técnicas e instrumentos	15
1.9.1.	Técnicas.....	15
1.9.2.	Instrumentos	15
1.10.	Justificación e importancia.....	23
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....		25
2.1.	Antecedentes.....	25
2.1.1.	Internacional.....	25
2.1.2.	Nacional	25
2.1.3.	Locales.....	26
2.2.	Bases teóricas	27
2.2.1.	Topografía.....	27
2.2.2.	Cuenca hidrológica	27
2.2.3.	Hidrología.....	27
2.2.4.	Ciclo hidrológico.....	28
2.2.5.	Precipitación.....	28
2.2.6.	Avenidas máximas	28
2.2.7.	Erosión	29
2.2.8.	Río	29
2.2.9.	Inundaciones.....	32

2.2.10.	Distribución de velocidades.....	32
2.2.11.	Rugosidad superficial.....	33
2.2.12.	Riberas.....	34
2.2.13.	Defensas ribereñas	35
2.2.14.	Hidrología estadística.....	36
2.2.15.	Diseño de enrocado	68
2.3.	Términos básicos.....	84
2.3.1.	Máximas avenidas.	84
2.3.2.	Inundaciones.....	85
2.3.3.	Defensas ribereñas	85
CAPITULO III. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....		86
3.1.	Análisis cuantitativo de variables	86
3.1.1.	Determinación de máxima avenida de diseño.....	86
3.1.2.	Diseño hidráulico y estructural de enrocado	96
CAPITULO IV. CONTRASTE DE HIPÓTESIS.....		116
4.1.	General.....	116
4.2.	Específica	118
CAPITULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		122
CONCLUSIONES		123
RECOMENDACIONES.....		124
FUENTE INFORMATIVA		125
ANEXOS.....		127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de capacidad carga, N_c , N_q y N_y	22
Tabla 2. Valores del coeficiente de rugosidad “ n ”.	33
Tabla 3. Fórmulas para determinar la probabilidad experimental.	38
Tabla 4. Relación número de datos y valor entre un intervalo “ a ”.	38
Tabla 5. Tiempos de retorno relacionados, para máximas avenidas.	42
Tabla 6. Valores promedios de factor de orilla “ F_s ”.	69
Tabla 7. Valores de K_1 para la fórmula de Simons y Henderson.	70
Tabla 8. Factor recomendado para el borde libre	71
Tabla 9. Valores de K_s	73
Tabla 10. Coeficiente para socavación “ B ”.	76
Tabla 11. Valores de x , $1/(x+1)$	77
Tabla 12. Peso específico y ángulos medios de fricción.	78
Tabla 13. Registro de caudales máximos anuales.	86
Tabla 14. Logaritmo de los caudales ordenados.	88
Tabla 15. Cuadro comparativo de resultado de caudales y periodos.	95
Tabla 16. Datos del cálculo de momento de volteo.	114

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Imagen satelital del río Coata.	14
<i>Figura 2.</i> Forma de una cuenca hidrológica.	27
<i>Figura 3.</i> Forma de un río recto.	30
<i>Figura 4.</i> Forma de un río entrelazado.	31
<i>Figura 5.</i> Forma de un río meándrico.	31
<i>Figura 6.</i> Distribución de velocidades según sección.	32
<i>Figura 7.</i> Dique enrocado.	36
<i>Figura 8.</i> Función densidad de la distribución normal.	43
<i>Figura 9.</i> Función densidad de la distribución normal estándar.	44
<i>Figura 10.</i> Función densidad y función acumulada.	56
<i>Figura 11.</i> Función densidad y acumulada gamma de 3 parámetros.	58
<i>Figura 12.</i> Serie de caudales máximos anuales - Estación Unocolla.	87
<i>Figura 13.</i> Levantamiento topográfico del río Coata. (Tramo Llucco).	97
<i>Figura 14.</i> Excavación de calicatas y muestreo de suelos.	99
<i>Figura 15.</i> Ubicación de la cantera de roca.	101
<i>Figura 16.</i> Menú del Software River.	105
<i>Figura 17.</i> Datos de caudal, periodo de retorno y pendiente del río.	105
<i>Figura 18.</i> Cálculo de ancho estable por recomendación práctica.	106
<i>Figura 19.</i> Cálculo de ancho estable método de Petits.	106
<i>Figura 20.</i> Cálculo de ancho estable método de Henderson y Simons.	107
<i>Figura 21.</i> Cálculo de ancho estable método de Altium y Blench.	107
<i>Figura 22.</i> Cálculo de ancho estable método de Manning y Stricker.	108

<i>Figura 23.</i> Cálculo de la sección teórica del cauce.	109
<i>Figura 24.</i> Cálculo de las dimensiones del dique.	110
<i>Figura 25.</i> Diseño preliminar del dique lateral.	111
<i>Figura 26.</i> Cálculo de tamaño de roca método de Maynard e Isbash.	112
<i>Figura 27.</i> Representación gráfica del dique recto.	112
<i>Figura 28.</i> Cálculo de tamaño de roca método de Maynard e Isbash.	113
<i>Figura 29.</i> Representación gráfica del dique en curva.	113
<i>Figura 30.</i> Grafica de dique en curva para diseño estructural.	114

INTRODUCCIÓN

Nuestra región es vulnerable a daños naturales, los cuales dejan pérdidas en los sectores productivos, siendo las inundaciones y desborde de ríos los que han ocasionado mayores problemas.

El Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) conceptualiza la inundación como el desborde lateral del agua de los ríos, inundando temporalmente los terrenos aledaños al río. Indicadas como zonas inundables, los cuales ocurren en temporadas de máximas precipitaciones, por lo cual para poder identificar estas zonas inundables es necesario el registro de caudales máximos que permitan establecer la posibilidad de ocurrencia de máximas avenidas, que cauce inundación a las zonas aledañas.

El presente trabajo de investigación tiene como propósito proponer y diseñar un sistema de enrocado para mitigar la erosión y los desbordes ocasionados por máximas avenidas que afecta a la población del sector Llucco – Coata y zonas aledañas a esta, poniendo en riesgo temporal el deterioro de sus viviendas, vías de comunicación, instituciones públicas, entre otros.

Se describió la realidad problemática, los objetivos, justificación e importancia, antecedentes, bases teóricas, resultados, conclusiones, recomendaciones y fuentes informativos.

Para tal fin, se muestra estudios de ingeniería así como: topografía, geología, ensayo de suelos y roca, caudales máximos anuales, máxima avenida con determinación de ocho métodos estadísticos, análisis hidráulico y estructural de la propuesta de enrocado con el programa RIVER, característica hidráulica de la defensa y conclusiones sobre dimensionamiento del dique.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Descripción de la realidad problemática

Las intensas lluvias del mes de enero a marzo en nuestra región Puno provocan cada cierto periodo erosión e inundaciones por desborde de los ríos provocando pérdidas de áreas cultivables, vías de transporte, edificaciones (puentes, canales de regadío, bocatomas, alcantarillas, entre otros). En muchos caso irre recuperables causando grandes pérdidas económicas en la población afectada.

Las precipitaciones extraordinarias que se presentan en nuestra región del altiplano, hacen que el río Coata incremente su caudal ocasionando erosión y deslizamiento de taludes e inundaciones por el desborde del río en zonas agrícolas del sector Llucco, afectando además las vías de comunicación, estructuras de alcantarillas, viviendas, establos, entre otros.

La mitigación de erosión de riberas no ha sido manejada de una manera eficiente en el pasado y en la actualidad, en consecuencia las áreas de cultivo, alcantarillas, infraestructura vial, sufren deterioros a consecuencia del desborde del río en ambas márgenes, ocasionando pérdidas económicas en el sector Llucco. Esto genera una gran preocupación a la población de Llucco y sectores aledaños al río Coata por lo que se propone una construcción de defensa ribereña con enrocado para que pueda mitigar la erosión de los taludes en el margen izquierdo y el desborde de las aguas en ambas márgenes cuando se presentan avenidas máximas por precipitaciones.

En el distrito de Coata los pobladores se dedican al sector agropecuario y comercial con la producción de los siguientes cultivos y forrajes: papa, habas, oca, cebada, avena, alfalfa, quinua, cañihua; producción pecuaria predominando en esta especie: vacuno y ovino; y como actividad complementaria la producción y comercialización de lácteos como: leche, queso, yogurt.

La producción agropecuaria se transporta para su comercialización a las provincias de Juliaca y Puno, generando una actividad económica que en muchas veces se ve afectado por el desborde del río Coata en los periodos críticos que como consecuencia genera grandes pérdidas de cultivos, obstrucción de vías de comunicación, erosión del suelo en la carretera de acceso, deterioro de viviendas inundadas, alcantarillas, almacenes de forraje y establos.

Por las razones antes mencionadas se propone la defensa ribereña con enrocado, puesto que se tiene una cantera de roca cercana a la zona del proyecto y que generalmente estas estructuras tienen un costo menor que las demás estructuras de protección de taludes en ríos.

1.2. Demarcación de investigación

1.2.1. Espacial

Tramo Lluccho, del río Coata, compuesta de 667 metros, ubicada en el distrito de Coata, provincia de Puno, la cuenca hidrográfica está constituida por el río con sus afluentes principales Cabanillas y Lampa. Y esta por su extensión es la

tercera unidad geográfica del sistema fluvial lacustre, se extiende desde el lago Titicaca a 3810 msnm., hasta los altos nevados de la cordillera occidental a 5400 msnm, comprendidos entre:

- Latitud : Sur 15° 07' 00" – 15° 55' 00"
- Longitud : Oeste 69° 55' 00" – 70° 01' 00"

y se localiza:

- Al norte : Río Ramis (Puno)
- Sur : Río Tambo (Moquegua) e Illpa (Puno)
- Este : Lago Titicaca
- Oeste : Cuenca del río Majes (Arequipa)

1.2.2. Temporal

El periodo de tiempo de recolección de la información comprende en cuatro meses de duración para la ejecución de los trabajos preliminares así como: recopilación de datos básicos como: topografía, suelos y roca, entre otros. Aprovechando el periodo de estiaje para obtener ejemplares de suelo de las orillas y levantamiento topográfico del cauce.

1.3. Planeamiento de problema

1.3.1. General

- ¿Cómo mitigar el desborde del río Coata en el sector Lluccho, por la erosión de taludes y la incapacidad de su

sección del cauce para contener el caudal que se presenta durante periodos de máximas avenidas?

1.3.2. Específicos

- ¿Cuál es la descargas máxima debida a las fuertes precipitaciones pluviales en el río Coata?
- ¿Cuál es la característica hidráulica y estructural de una estructura de protección para mitigar el desborde del río?

1.4. Objetivos

1.4.1. General

- Plantear una propuesta de diseño de enrocado en río Coata para el tramo del sector Llucco a fin de mitigar el desborde.

1.4.2. Específicos

- Determinar las descargas máximas por ocho métodos estadísticos en el río Coata en el sector Llucco, debido a las precipitaciones pluviales.
- Realizar el diseño hidráulico y estructural de enrocado con el Software RIVER, en función a las descargas generadas y las características geotécnicas de la zona.

1.5. Formulación de hipótesis

1.5.1. General

- Plantear una propuesta de diseño de enrocado en el río Coata para el sector Llucco, es una alternativa de solución para mitigar el desborde del río en dicho sector.

1.5.2. Específicas

- Determinar las descargas máximas por ocho métodos estadísticos en el río Coata en el sector Llucco nos permitirá obtener un dato más aproximado del caudal de diseño.
- Realizar el diseño hidráulico y estructural de enrocado con el programa RIVER en función a las descargas generadas y las características de la zona, es una propuesta de diseño.

1.6. Variables de investigación y operacionalización

1.6.1. Independiente:

- **Precipitaciones pluviales**, consiste en datos registrados de las precipitaciones pluviales máximas anuales.
- **Características geotécnicas de la zona**, consiste en la caracterización y propiedades mecánicas del tipo de suelo.
- **Topografía**, consiste en la característica o forma del terreno de un determinado lugar.

1.6.2. Dependiente:

- **Caudales máximos de diseño**, consiste en el dato máximo del caudal con periodo de retorno de 50 años, que se obtiene de las operaciones matemáticas y estadísticas en función al registro de precipitaciones anuales de varios años anteriores.
- **Capacidad portante del suelo**. La determinación de la capacidad portante del suelo, depende de las características físicas y mecánicas del suelo.
- **Diseño hidráulico y estructural del enrocado**. El diseño hidráulico y estructural depende de una serie de datos así como: precipitaciones, características geotécnicas, entre otros.

1.7. Diseño de investigación

1.7.1. Tipo

Es aplicada o tecnológica puesto que utiliza las ciencias teóricas para los objetivos específicos y las soluciones prácticas. Esta investigación aplicada resuelve para actuar y construir las soluciones dadas sobre una realidad problemática.

1.7.2. Nivel

Descriptivo, se verifica para describir, en sus elementos principales, una realidad de una zona. Tiene como objetivo la descripción de los aspectos principales de una realidad a investigar, donde se observa, describe y aplica de los

conocimientos teóricos y prácticos para una solución o propuesta de solución.

Explicativo, se encarga de buscar la analogía de causa - efecto. Se ocupa de buscar las causas de un determinado problema así como los efectos que esta ocasiona mediante una prueba de hipótesis.

1.7.3. Método

Cuantitativo. El propósito de este método es exponer y hallar el conocimiento de un tema mediante datos obtenidos y elementos teóricos obtenidos.

1.7.4. Diseño

No experimental. El cual se realiza sin maniobrar intencionalmente variables, por lo que se conoce de una exploración donde no se hace alterar las variables independientes.

1.8. Población y muestra

Está constituida por la ribera del río Coata con una longitud de 667 metros en el tramo Llucco.



*Figura 1. Imagen satelital del río Coata.
Fuente: Google Earth.*

La muestra es la progresiva de 0+000 – 0+667 km, considerando la técnica de muestreo no probabilístico o dirigida por conveniencia. Donde el muestreo se realizó en base a los conocimientos y criterios técnicos sobre el análisis constituida por la erosión de la ribera de río.

La dimensión de la muestra es de la progresiva 0+000 – 0+667 km, en el tramo Llucco, erosionada con riesgo temporal de desborde de río por el incremento del caudal en tiempos de avenida.

1.9. Técnicas e instrumentos

1.9.1. Técnicas

El presente trabajo en primer lugar se tuvo en cuenta la revisión teórica basado al tema de investigación que sirvieron para armar el marco teórico. Y en segundo lugar se realizó un monitoreo de los antecedentes de la investigación en la zona de estudio donde se encontró modelamientos del desborde del río Coata, entre otros. Asimismo, se consideró la información no documentada como la observación propiamente dicha para la selección del tramo de estudio.

1.9.2. Instrumentos

Para efectuar los objetivos de investigación, se tuvo en cuenta los siguientes estudios y ensayos.

1.9.2.1. Estudio topográfico

Se realizó el reconocimiento a detalle mediante análisis visual y el levantamiento topográfico del cauce y la franja de influencia, realizándose el levantamiento topográfico.

a. Equipo técnico y personal empleado

Se conformó un equipo de trabajo de cuatro personas, presidido por un técnico en topografía y tres personas de apoyo para el manejo de estación total, prismas, trípode, GPS – Garmin, wincha, bastones porta prisma, estacas y pintura.

b. Equipos utilizados

Se utilizaron los siguientes equipos: vehículo para la movilización y traslado de equipo y personal, Trípode de aluminio, estación total, GPS, bastones porta prisma, trípode de aluminio, prismas.

c. Trabajo en gabinete

Luego de los trabajos en campo se iniciaron los trabajos de descarga de datos a la computadora y procesamiento en los programas como: Exel, Auto Cad. Donde se procesaron las curvas maestras y

secundarias, planos de planta, cortes en secciones a cada 20 metros, perfiles, entre otros.

1.9.2.2. Estudio hidrológico

Cumple un rol muy importante para el diseño de máximas avenidas para el cálculo y diseño de puentes, infraestructura vial, ferrocarriles, alcantarillas, bocatomas, entre otras estructuras ligadas a la construcción hidráulica. En este proyecto se realizó el cálculo de la avenida máxima por los siguientes métodos de distribución:

- Normal o Gaussiana.
- Log - Normal de dos parámetros.
- Log - Normal de tres parámetros.
- Gamma de dos parámetros.
- Gamma de tres parámetros o Pearson tipo tres.
- Log- Pearson tipo tres.
- Gumbel.
- Log - Gumbel.

1.9.2.3. Estudio geotécnico

Consiste principalmente en el análisis de los materiales que la constituirán y los correspondientes para el diseño.

El trabajo geotécnico ha sido desarrollada con criterio técnico, el cual permite instituir las características del suelo a lo largo del tramo (0+000 – 0+667 km) para la defensa

riberaña del río Coata. Determinar los parámetros geotécnicos del dique, características de diques existentes y cantera de roca determinada en el cerro Huata; parámetros y características que deben ser tomados en cuenta en la propuesta y diseño de la defensa ribereña y que sustenten con los resultados de laboratorio de suelos (UNA- PUNO), excavaciones exploratorias, ensayos In Situ, ensayos de laboratorio adjuntados en presente proyecto.

1.9.2.4. Geotecnia

Se describe los trabajos ejecutados en el proyecto, determinando las características mecánicas de suelo y roca que constituirán el área de implantación de la estructura hidráulica, así como los materiales que se emplearan para la propuesta y diseño hidráulico estructural; parámetros geotécnicos basados en los ensayos de suelos y rocas.

Con la finalidad de caracterizar los suelos y la cantera de roca, se obtuvo muestras mediante excavaciones manuales (calicatas), para los ensayos en laboratorio, orientadas a determinar los parámetros geotécnicos. Teniendo en cuenta las características geológicas, se procedió a ejecutar:

- Excavaciones exploratorias.
- Muestreo de suelos y rocas para los ensayo en laboratorio.

1.9.2.5. Ensayo de suelo

- Ubicación

Para las calicatas se ubicó en ambas márgenes del río Coata (derecho e izquierdo) del tramo en erosión (Sector Lluccho) desde la progresiva 0+000 al 0+667 km.

- Excavaciones exploratorias

Se realizó las excavaciones exploratorias con un total de ocho calicatas (04 en orillas y 04 en talud existente); a cada 250 metros donde se alcanzaron profundidades promedio de 1.3 metros; en algunos casos y cuando las condiciones del perfil del suelo lo permitían se complementaron con la verificación y lectura de los perfiles naturales.

Durante la ejecución de las excavaciones se realizaron las siguientes actividades: muestreo representativo de suelo, medición de espesores de capas, verificación visual del tipo de suelos, medición del nivel freático en la orilla.

- Toma de muestras

Se realizó la toma de muestras en la orilla del río y en el talud existente, en ambas márgenes del río excavando una cantidad total de ocho calicatas (04 en taludes y 04 en orillas del río), de acuerdo a las especificaciones de las normas del MTC E 101.

- Mecánica de suelos

Este ensayo de suelos se orientó para definir sus principales propiedades físico, mecánica e hidráulicas. Se ejecutaron los siguientes ensayos siguiendo las normas del MTC y ASTM.

- a. Ensayos realizados a los diques existentes y orilla.

- Granulometría SUCS (ASTM-D-421)
 - Limite líquido y plástico (ASTM-D-4318)
 - Clasificación de suelos (ASTM-D-2484)
 - Corte directo (ASTM-D-3080)

1.9.2.6. Ensayo de rocas

- Ubicación

Para el ensayo de rocas que conforma la propuesta de enrocado, se verificó visualmente por Google Earth la cantera más próxima y accesible al lugar de estudio que cumpla las condiciones de calidad, accesos, potencia. El cual se ubicó en el distrito de Huata (cerro Huata), donde se realizó las evaluaciones y ensayos en laboratorio del material de muestra para la propuesta.

- Vías

La cantera se ubica aproximadamente a 7km de la zona de estudio, existiendo acceso desde el sector de estudio por

una trocha y por la carretera asfaltada que llega precisamente a la cantera de roca (cerro Huata).

- Toma de muestras

Se realizó la toma de muestras en la cantera del cerro Huata, de acuerdo a las especificaciones de las normas del MTC E 101.

- Ensayo de mecánica de rocas

En este ensayo de rocas se orientaron para definir sus principales propiedades físico, mecánica e hidráulicas. Se ejecutaron los siguientes ensayos:

- Ensayo de abrasión menos de 1 1/2"(ASTM-C-131)
- Gravedad específica (ASTM C-127)
- Porcentaje de absorción (ASTM C-128)

1.9.2.7. Determinación de capacidad admisible

Se calculó en base a los ensayos.

Para determina el valor se utilizó la teoría de **Terzagui**, dada por la siguiente expresión:

$$q_{ad} = \frac{1}{FS} \left(CN_c + \gamma D_f N_q + \frac{1}{2} B \gamma N_\gamma \right)$$

q_{ad} = Capacidad admisible (kg/cm²)

γ = Densidad húmeda (kg/cm³)

D_f = Profundidad de desplante del dique (m)

B = Ancho menor del cimiento (m)

C = Cohesión (kg/m^3)

N_q = Factor adimensional de capacidad de carga

N_γ = Factor adimensional

N_c = Parámetro adimensional de la cohesión

Además para determinar los factores se utiliza la siguiente tabla 1.

Tabla 1. Factores de capacidad carga, N_c , N_q y N_γ .

ϕ'	N_c	N_q	N_γ^a	ϕ'	N_c	N_q	N_γ^a
0	5.70	1.00	0.00	26	27.09	14.21	9.84
1	6.00	1.1	0.01	27	29.24	15.90	11.60
2	6.30	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.70
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.10	30	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.20	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2.00	0.27	33	48.09	32.23	31.94
8	8.60	2.21	0.35	34	52.64	36.50	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.80	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.50	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.60	5.45	2.18	43	134.58	126.50	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.60
19	16.56	6.70	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.80	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.75	10.23	6.00	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.40	7.08	50	347.50	415.14	1 072.80
25	25.13	12.72	8.34				

Fuente: (Terzagui, 1943).

1.9.2.8. Software RIVER

Para el cálculo hidráulico de enrocado se utilizó el Software River donde utiliza los métodos y/o ecuaciones de: Petits; Simons y Henderson; Blench y Altunin; Manning y

Stricker; ecuación de continuidad; método de LI list Van Levediev; formula de Isbash y Formula de Maynard. Con el cual se calculó las dimensiones del enrocado de dique, para el cual se inserta una serie de datos básicos de ingeniería según el procedimiento del Software. En este caso para el cálculo de máxima avenida se no se utilizó el programa, se determinó con las formulas dadas de Máximo Villón Bejar, por ocho métodos estadísticos usando el programa Exel.

1.10. Justificación e importancia

Las precipitaciones en nuestro altiplano son intensas en algunos periodos ocasionando inundaciones por desborde de ríos, en las partes bajas donde desemboca el agua al lago, ocasionando pérdidas humanas, infraestructuras, áreas de cultivo, entre otros.

El presente estudio se justifica por el riesgo que presentan las viviendas, población rural y urbana, cultivos, carreteras afirmadas y asfaltadas contiguas a la franja del río Coata. Por lo que se requiere una protección eficiente frente a las crecidas del río, las inundaciones, y la erosión por socavación en cambios de dirección del cauce del río dentro del área rural y urbana, puesto que la reubicación de las zonas habitadas, carreteras existentes, las áreas de cultivo no es una opción económicamente adaptable.

El sector Llucco del río Coata sufre constantemente los desbordes de las aguas fluviales, por la topografía casi llana que presenta esta zona.

Con el fin de mitigar este problema, la presente tesis propone una estructura de defensa de enrocado para su posterior ejecución.

La importancia se basa en los constantes desbordes del río Caota que ocasionan grandes pérdidas económicas al estado y a la población, que año tras año vienen sufriendo por las inclemencias de la naturaleza, por lo que es importante la pronta ejecución de las defensas ribereñas que garanticen su funcionalidad, durabilidad y contrarrestar la erosión en los cambios de dirección del flujo del agua (curvas de río).

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacional

Gualdrón (2011), en su trabajo centraliza el problema de prevención de desastres erosivos por las aguas fluviales para el sector San Rafael en el río Lebrija – Bucaramanga. El objetivo de esta tesis es exponer la opción más factible para prevenir posteriores inundaciones en la zona, usando estructuras de defensa en márgenes del río. Para eso realizó estudios geológicos, hidráulicos y estadísticos para diseñar las estructuras. Acertando la construcción de espigones para la defensa del cauce, el cual según los estudios hidráulicos y análisis de problemas erosivos, recomienda que sea de tipo artificial, cubiertos con geotextil en la base.

2.1.2. Nacional

Alanya (2017), su objetivo fue, determinar el tipo de sistema de prevención y control de la erosión que debe emplearse para evitar la erosión de las riberas del río San Fernando en el tramo Chayhuamayo – Shucusma, Huancayo Junín. Donde concluye: que el sistema de interposición de una estructura de gaviones previene y controla la erosión de taludes en la ribera del río mencionado, el caudal máximo que determinó es $10.13\text{m}^3/\text{s}$.

2.1.3. Locales

Flores (2015), su objetivo fue elaborar el diseño de la infraestructura de defensa ribereña para el río llave – C.P. Santa Rosa de Huyllata, como una medida ante la persistente avenida del río. Mediante el desarrollo de su trabajo de investigación detallo una estructura colmado de material de prestación, con pendiente de talud de H=2.0 V=1.00 perfil mojada y H=3.0 V=4.0 perfil seca y enrocado con ancho 0.70 a 1.00m, para un tiempo de retorno de 50, el caudal que determinó para diseñar de la defensa ribereña fue 1,203.00 m³/seg.

Lobo (2017), su objetivo general fue realizar la memoria hidrológica e hidráulico con la finalidad de identificar áreas de vulnerabilidad a desbordes de cuenca baja en el río Coata-Puno, para tiempos de venida de 25, 50, 100, 200 y 500 años, donde usó el software Hec Ras para determinar áreas peligrosas de desborde para los diferentes periodos antes mencionados. Donde además cálculo caudales máximos de 664.7, 758.3, 843.2, 931.8, 1044.2m³/s., concluyendo que el poblado de Almozanche es vulnerable a desborde de río con una amplitud de 3, 3.31, 3.45, 3.55 y 3,76 ha, el cual ocasionaría daños materiales, pérdidas humanas y cultivos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Topografía

Es la ciencia que estudia la configuración real de una superficie de terreno, teniendo en cuenta la planimetría, altimetría y la posición geográfica. (definición propia).

2.2.2. Cuenca hidrológica

Villón (2002) indica que “es la superficie de terreno donde todas las aguas precipitadas, se acoplan para formar un solo recorrido de agua. Cada recorrido de agua tiene una cuenca adecuadamente definida, para cada lugar de su dirección” (p.21).

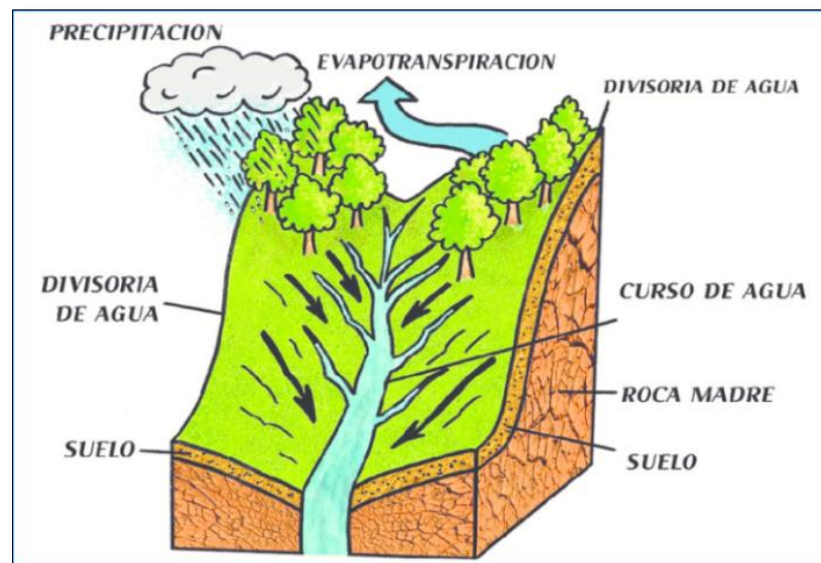


Figura 2. Forma de una cuenca hidrológica.
Fuente: Internet.

2.2.3. Hidrología

Villón (2002) menciona que “es la rama natural que experimenta al agua, su acontecimiento, transporte y repartición del área

terrestre, sus propiedades químicas, físicas y la analogía con el medio ambiente, envolviendo a los seres vivos” (p.15).

2.2.4. Ciclo hidrológico

Linsley (1977) dice “que el ciclo se presenta iniciando con la evaporación, del agua de los mares, el gas de agua consecuente es trasladado por las corrientes de aire” (p.1).

Chereque (1980) denomina al “ciclo hidrológico el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc)” (p.1)

2.2.5. Precipitación

Villón (2002) precisa que “es toda forma de humedad que iniciándose en las nubes, llega hasta la área terrestre; de acuerdo a este enunciado la precipitación puede ser en modo de: lluvias, granizadas, garúas y nevadas” (p.68).

2.2.6. Avenidas máximas

Es el incremento del nivel de un cauce fluvial significativamente superior a la capacidad de transporte del agua en una sección de un río que en la mayoría de los casos es superada provocando inundaciones. (definición propia).

2.2.7. Erosión

Es una fase destructiva de los materiales de la cubierta terrestre por función de los procesos geológicos, que conlleva al fracturamiento, fisuramiento, modificación física y/o química hasta el momento del desprendimiento de los materiales, sin incluir el transporte. Los causantes erosivos son: agua, viento, radiación solar y los seres vivos. (Terán, 1998, p.9).

Suarez (2001) menciona que “la erosión engloba el desprendimiento, transporte y posterior sedimentación de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento. La erosión puede ser producida tanto por el agua como el viento” (p.15).

2.2.8. Río

Según Terán (1998) “es la unión de las aguas de escorrentía en un cauce determinado y sobre el cual fluyen, a través de la superficie del suelo” (p.9).

Para Rocha (1998) “es el sección de drenaje de la cuenca. Sin embargo, un río no solo lleva agua sino también transporta sedimentos que resultan de la erosión” (p.44).

a) Clasificación de ríos

Rocha (1998) “dice que los ríos pueden clasificarse de muchas maneras y formas. Cada clasificación tiene un comienzo y un propósito específico” (p.61).

Clasificación según morfología:

- **Ríos rectos**

No existen ríos en la naturaleza. A veces como se ve en realidad, usualmente no existen ríos rectos en la corteza terrestre. A veces ocurre que existe un medio de orientación recto, compuesto por diques paralelos, pero dentro de él, para caudales mínimos que el de diseño, el río desenvuelve su propio serpenteo. (Rocha, 1998, p.187).

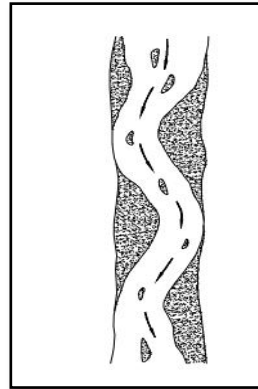


Figura 3. Forma de un río recto.
Fuente: Rocha (1998).

- **Ríos entrelazados**

Rocha (1998) lo llama “ríos cruzados. Pertenecen habitualmente a ríos amplios, cuya inclinación es fuerte, lo que da lugar a pequeños tirantes (calados) y el río circula en modo de diversos canales o brazos en torno a pequeñas islas” (p.187).

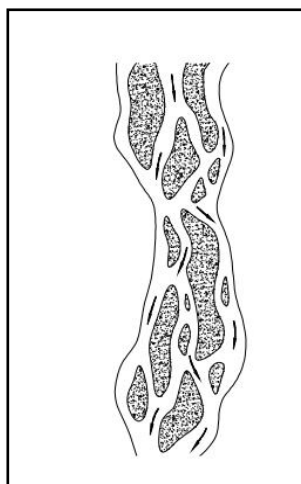


Figura 4. Forma de un río entrelazado.

Fuente: Rocha (1998).

- **Ríos meándricos**

Para Rocha (1998) “están constituidos por una continuación de curvas. La peculiaridad de estas curvas, que son muy activas, es que no se deben sustancialmente a las peculiaridades de terreno, sino a la naturaleza del estilo pluvial” (p.187).

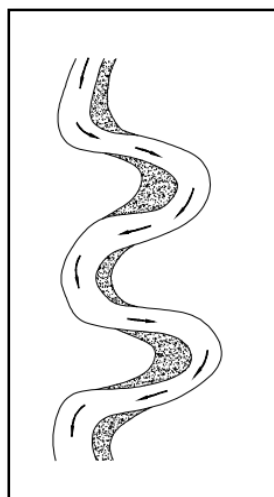


Figura 5. Forma de un río meándrico.

Fuente: Rocha (1998).

2.2.9. Inundaciones

Se define como una situación de presencia de aguas fluviales ocasionando desbordamientos de cauces naturales que generan daños a zonas aledañas. (definición propia).

2.2.10. Distribución de velocidades

Debido al estado de la superficie libre y a la fricción a lo largo de los muros del canal, las velocidades en un canal no están idénticamente distribuidas en su sección. La máxima velocidad medida en canales normales a menudo sucede por debajo del área libre a una distancia de 0.05 a 0.25 de la profundidad; cuanto más cerca de las bancas, más profundo se localiza este máximo. (Chow, 1994, p.24).

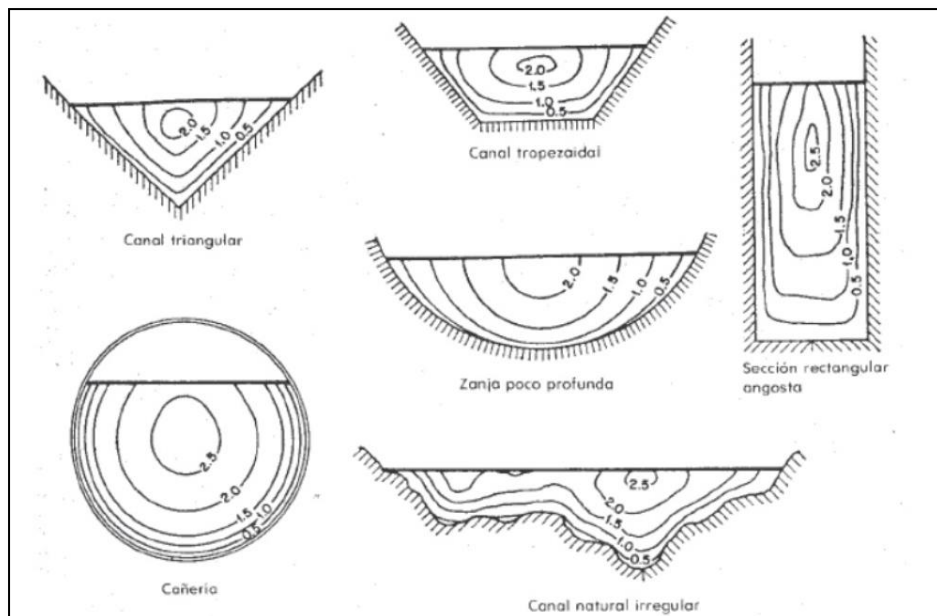


Figura 6. Distribución de velocidades según sección. Fuente: Chow (1994).

2.2.11. Rugosidad superficial

Se presenta por el tamaño y forma de los granos del material que forma el perímetro mojado y que producen un efecto retardador del flujo. Por lo general este se considera como el único factor a la selección de un coeficiente de rugosidad, pero en realidad es uno de los factores principales. En general, granos finos dan como resultado un valor relativo bajo de n y granos gruesos, un valor alto de n . (Chow, 1994, p.99).

Tabla 2. Valores del coeficiente de rugosidad “ n ”.

(Las cifras en **Negrillas** son los valores generales recomendados para el diseño)

Tipo de canal y descripción		Mínimo	Normal	Máximo
D-1	Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente <100 pies)			
	a. Corrientes en planicies			
	1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033
	2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.030	0.035	0.040
	3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.040	0.045
	4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.050
	5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.040	0.048	0.055
	6. Igual al 4, pero con más piedras	0.045	0.050	0.060
	7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
	8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales en crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0.075	0.100	0.150
	b. corriente montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos			
	1. Fondos gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
	2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070
D-2	Planicies de inundación			
	a. Pastizales, sin matorrales			
	1. Pasto corto	0.025	0.030	0.035
	2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
	b. Áreas cultivadas			
	1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
	2. Cultivo en línea maduros	0.025	0.035	0.045
	3. Campos de cultivos maduros	0.030	0.040	0.050

C. Matorrales			
1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4. Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5. Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
d. Árboles			
1. Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
2. Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
3. Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel de agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
5. Igual al anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160
D-3. Corrientes mayores (ancho superficial en nivel de creciente >100 pies). El valor de n es menor que el correspondiente a corrientes menores con descripción similar, debida a que las bancas ofrecen resistencia menos efectiva.			
a. Sección regular, sin cantos rodados ni matorrales	0.025	0.060
b. Sección irregular y rugosa	0.035	0.100

Fuente: Manning (citado en Chow, 1994).

2.2.12. Riberas

Las riberas de los ríos, en un sentido amplio, representan zonas más próximas a los cauces. Son espacios abiertos que bordean a los ríos estableciendo su límite, y constituyen a la vez una zona de transición entre los sistemas terrestres de la ladera y los acuáticos del cauce, y también las riberas son uno de los entornos de mayor valor ecológico y paisajístico. (García, 1997).

2.2.13. Defensas ribereñas

Son el conjunto de estructuras que se construyen en las márgenes de los ríos con la finalidad de contrarrestar los desbordes del agua en épocas lluviosas, así como mitigar la socavación ocasionada por los cambios de dirección del flujo de agua. (definición propia).

Existen dos formas de medidas de mitigación: estructurales y agronómicas. (Terán, 1998, p. 12).

2.2.13.1. Medida estructural

Terán (1998) indica que “son todas aquellas medidas que radican en estructuras proyectadas en base a las nociones de ingeniería, para confrontar la erosión de la escorrentía superficial. En materia de diseño se toma en cuenta la hidráulica e hidrología” (p.13).

La medida que se propone en este trabajo es:

Dique enrocado

Terán (1998) revela que “son estructuras conformadas con material de río trabajado en perfil trapezoidal y recubierto con roca de tamaño adecuado en su cara mojada; pueden ser continuos o tramos seleccionados donde se presenten flujos de agua con gran poder de socavación” (p.14).

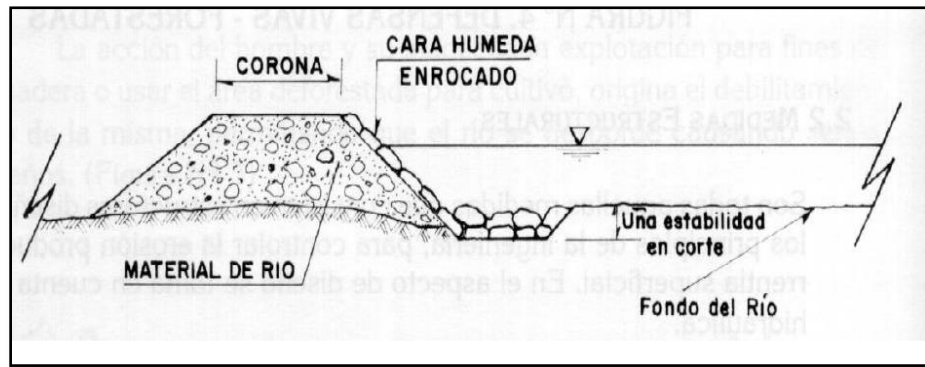


Figura 7. Dique enrocado.
Fuente: Terán (1998).

2.2.14. Hidrología estadística

2.2.14.1. Definición clásica de probabilidad

Para Villón (2002) “la probabilidad $P(A)$, de un suceso A , en una experimentación eventual que tiene N_S resultados equivalentemente posibles, y de los cuales N_A , son resultados propicios” (p.17).

$$P(A) = \frac{N_A}{N_S} \quad \dots(1)$$

N_A = número posible de resultados del experimento.

N_S = número posible de resultados del espacio muestral.

2.2.14.2. Variables aleatorias

Se define como un numero variable X por intermedio de la cual sea viable definir una función $F(x)$ que, para cada valor real X que la variable eventual que pueda tomar, mida la probabilidad de que se comprueben valores de X menores o al menos iguales a X . (Monsalve, 1999).

$$P(X \leq x) = F(x) \quad \dots(2)$$

Donde $F(x)$ = valor asumido para la función de distribución acumulada o repartición de variable eventual, en relación a un valor específico X ".

2.2.14.3. Parámetros

Para Villón (2002) "las medidas de una distribución teórica, son inconstantes que para cada grupo de datos tienen un valor determinado. Una vez que los parámetros están precisados, también queda precisada la distribución teórica" (p.105).

2.2.14.4. Estimadores

Para Villón (2002) "dada una función de distribución con parámetros α , β , γ , ..., se citan estimadores a los valores a , b , c , ..., conseguidos a partir de los estadísticos del ejemplar o muestra, que se presume corresponde a la población que se intenta describir" (p.106).

Para Villón (2002) "dado un grupo de datos ordenados: x_1 , x_2 , x_3 , ..., x_N . Existen varias fórmulas para calcular la probabilidad de ocurrencia de los datos ordenados" (p.108).

Los cuales se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Fórmulas para determinar la probabilidad experimental.

Formula empírica	probabilidad experimental acumulada
California	m/n
Hazen	$(m-1/2)/n$
Weibull	$m/n+1$
Chegadayev	$(m-0.3)/(n-0.4)$
Blom	$(m-(3/8))/(n+(1/4))$
Tukey	$(3m-1)/(3n+1)$
Gringorten	$(m-a)/(n+1-2a)$

Fuente: Hidrología estadística (Villón, 2002, p.108)

Dónde:

P = Es la probabilidad experimental acumulada

m = orden del numero

n = cifra de datos

a = valor interpretado en el intervalo $0 < a < 1$, y depende de "n", de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 4. Relación número de datos y valor entre un intervalo "a".

n	10	20	30	40	50
a	0.448	0.443	0.442	0.441	0.440
n	60	70	80	90	100
a	0.440	0.440	0.440	0.439	0.439

Fuente: Hidrología estadística (Villón, 2002, p.109)

De todas estas fórmulas empíricas, la más utilizada es la de Weibull.

2.2.14.5. Método de estimación de parámetros

Según Villón (2002) “para establecer los valores numéricos de los parámetros de la distribución teórica, a partir de los datos muestrales, se manejan varios métodos de estimación, siendo en orden ascendente de menor a mayor eficiencia, los siguientes” (p.109).

- Gráfico
- Mínimos cuadrados
- Momentos
- Máxima verosimilitud

A. Método momentos

Para Villón, “el método fue implementado por Karl Pearson en 1902. El principio elemental de la estimación por este método, es implantar para cada función de distribución, la relación entre los parámetros y los momentos centrales” (p.118).

De manera que:

$$\begin{aligned}\alpha &= f_i(\mu_i, \mu_{i+1}, \dots) \\ \beta &= f_j(\mu_j, \mu_{j+1}, \dots) \\ \gamma &= f_k(\mu_k, \mu_{k+1}, \dots)\end{aligned}\quad \dots(3)$$

dónde:

α, β, γ = parámetros de función distribución

μ_i, μ_j, μ_k = momentos con respecto a la media

Como los momentos, son estimados a partir de los momentos de la muestra, como estimadores sesgados o insesgados, el resultado que se obtiene será a, b, c , ó $\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}$, como estimadores sesgados o insesgados de los parámetros.

2.2.14.6. Distribuciones teóricas

Villón (2002) indica que “el hidrólogo habitualmente adquirirá un registro de datos hidrometeorológico (caudales, precipitación, etc.), a través de su entendimiento del problema físico, elegirá un modelo probabilístico a usar, que contribuya en forma satisfactoria la determinación de la variable” (p.165).

Distribuciones teóricas usadas en hidrología generalmente son:

- Normal o Gaussiana.
- Log-Normal de dos parámetros.
- Log-Normal de tres parámetros.
- Gamma de dos parámetros.
- Gamma de dos parámetros.
- Log-Pearson tipo tres.
- Gumbel.

– Log-Gumbel.

2.2.14.7. Período de retorno (T)

Se define como la categoría media de periodos, en el cual un suceso de dimensión X puede ser parejo o superado, por lo menos una vez en media. Así, si un suceso parejo o mayor a X , sucede una vez en T años, su posibilidad de ocurrencia P , es igual uno en T suceso, es expresar:

$$P(X \geq x) = \frac{1}{T} \quad \dots(4)$$

dónde:

$P(X \geq x)$ = posibilidad de ocurrencia de un suceso $\geq x$

T = tiempo de retorno

La definición anterior, permite indicar que la posibilidad que X no suceda en año cualquiera; es indicar, la posibilidad de ocurrencia de un suceso $< X$, se expresa como:

$$P(X < x) = 1 - P(X \geq x)$$

de donde:

$$P(X < x) = 1 - \frac{1}{T}$$

ó

$$T = \frac{1}{1 - P(X < x)}$$

T = Tiempo de venida

$P(X \geq x)$ = posibilidad de excedencia

$P(X < x)$ = posibilidad de no excedencia

Tabla 5. *Tiempos de retorno relacionados, para máximas avenidas.*

Estructuras	Tiempo de retorno (años)
Puentes sobre carretera importante.	50 – 100
Puentes sobre carreteras menos importantes o alcantarillas sobre carretera importante.	25
Alcantarillas sobre camino secundario.	5 a 10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde pueden tolerarse encharcamiento con lluvia de corta duración.	1 a 2
Drenaje de aeropuertos.	5
Drenaje urbano.	5
Drenaje agrícola.	5 a 10
Muros de encauzamiento.	2 a 50

Fuente: Hidrología estadística (Villón, 2002, p.168)

2.2.14.8. Distribución Gaussiana

Función densidad

Villón (2002), menciona variable eventual X , cuando tiene una distribución Gaussiana cuando su ecuación, es:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi S}} \text{EXP} \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \bar{X}}{S} \right)^2 \right] \quad \dots(5)$$

ó

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi S}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \bar{X}}{S} \right)^2} \quad \dots(6)$$

$$-\infty < x < \infty$$

Para

$f(x)$ = Función densidad de X

x = Variable independiente

\bar{X} = Parámetro de localización, similar a la media aritmética de x

S = Parámetro de escala, igual a desviación estándar de x

EXP = Función exponencial con base e, de los logaritmos

Si la variable aleatoria X , se distribuye normalmente con media $\mu = \bar{X}$ y varianza $\sigma^2 = S^2$, se expresa de la siguiente forma:

$$X \approx N(\bar{X}, S^2)$$

La función densidad de la distribución normal se visualiza en la figura 8, y es como se observa en la figura.

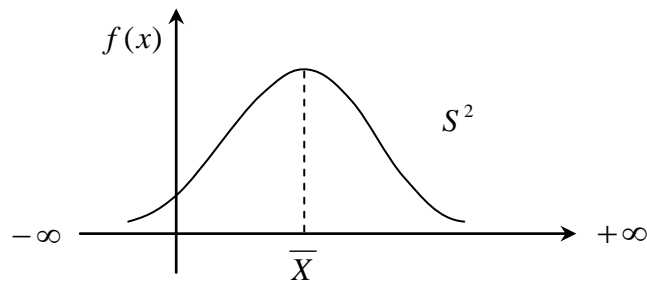


Figura 8. Función densidad de la distribución normal.

Fuente: Hidrología estadística (Villón, 2002, p.170)

Según Villon (2002),

$$\text{Si: } Z = \frac{x - \bar{X}}{S} \quad \dots(7)$$

La función densidad de Z , se expresa:

$$f(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \text{EXP} \left[-\frac{Z^2}{2} \right] \quad \dots(8)$$

ó

$$f(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} e^{-\frac{Z^2}{2}} \quad \dots(9)$$

Para $-\infty < Z < \infty$

Los datos de $f(x)$ o $f(Z)$ pueden ser sencillamente evaluados para un valor de X o Z por las ecuaciones (6) ó (9).

La función de la distribución normal estándar, se muestra en la figura 9.

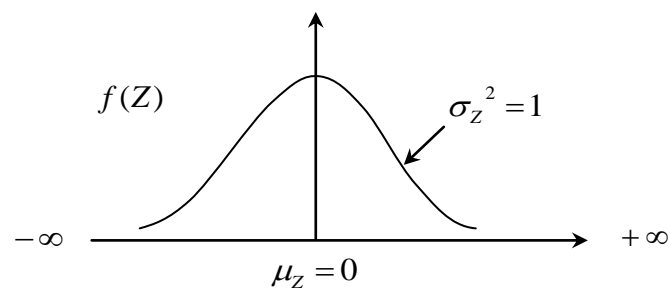


Figura 9. Función densidad de la distribución normal estándar.

Fuente: Hidrología estadística (Villón, 2002, p.171)

La peculiaridad esencial de la distribución normal estándar es que posee $\mu_z = 0$ y $\sigma_z^2 = 1$, por lo tanto:

$$X \approx N(\bar{X}, S^2)$$

Función de distribución acumulada

Según Villón (2002), es integral de las ecuaciones (5) y (6):

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}S} \int_{-\infty}^x \text{EXP} \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \bar{X}}{S} \right)^2 \right] dx \quad \dots(10)$$

ó

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}S} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \bar{X}}{S} \right)^2} dx \quad \dots(11)$$

Según Villón (2002), su semejante, es la integral de las ecuaciones (8) ó (9)

$$F(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \int_{-\infty}^Z \text{EXP} \left[-\frac{Z^2}{2} \right] dZ \quad \dots(12)$$

ó

$$F(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \int_{-\infty}^Z e^{-\frac{Z^2}{2}} dZ \quad \dots(13)$$

Donde $F(x)$ es la F.D.A. para la inconstante X , en base a la ecuación (10), o asimismo para la inconstante estandarizada Z , en base a la ecuación (12), por lo que se dice $F(x)=F(Z)$.

El cual, tiene las siguientes propiedades:

$$F(-\infty) = 0$$

$$F(\bar{X}) = 0.5$$

$$F(+\infty) = 1$$

Evaluación de parámetros

Según Villón (2002), para calcular los parámetros de distribución teórica. Se pueden usar el método de momentos.

Cabe denotar que la distribución normal, es la indicada función, que calcula los propios resultados de parámetros, evaluados por la técnica de momentos. Los parámetros conseguidos son los siguientes:

$$\bar{X} = \mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad \dots(14)$$

$$S = \sigma = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots(15)$$

\bar{X} = Valor de media o denotado como parámetro de posición.

S = Valor determinado insesgado de desviación estándar.

2.2.14.9. Log – Normal de dos parámetros

Según Villón (2002), la inconstante casual X , es positiva y el límite inferior x_0 no se denota.

La inconstante casual: $Y=\ln x$, es habitualmente distribuida con media μ_y y varianza σ_y^2 .

Función densidad

Una inconstante eventual X , tiene una distribución Log-Normal de dos medidas, si su densidad corresponde a la siguiente expresión:

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2} \quad \dots(16)$$

Para $-\infty < x < \infty$

$$X \approx \log N(\mu_y, \sigma_y^2)$$

En la que μ_y , σ_y , son media y desviación estándar de logaritmos naturales de x , es referir de $\ln x$.

Función distribución en términos $y=\ln x$

Por lo que:

$$y = \ln x \Rightarrow dy = \frac{1}{x} dx \Rightarrow \frac{dx}{dy} = x \quad \dots(17)$$

asimismo, por las distribuciones acumuladas, se tiene:

$$f(y)dy = f(x)dx$$

ó

$$f(y) = f(x) \frac{dx}{dy} \quad \dots(18)$$

Sustituyendo (16) y (17), en (18), resulta:

$$f(y) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2} x$$

También:

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2}$$

Finalmente, reemplazando $y=\ln x$, se tiene:

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2} \quad \dots(19)$$

Para $-\infty < y < \infty$ y $y = \ln x$

$$y \approx N(\mu_y, \sigma_y^2)$$

Siendo:

μ_y = Una medida de escala

σ_y = Una medida de forma

Función de distribución acumulada

La F.D.A de Log- Normal de dos parámetros, es la integral de las funciones (16) o (19), es indicar:

$$F(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\Pi}\sigma_y} \int_0^x e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2} dx \quad \dots(20)$$

ó

$$F(y) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}\sigma_y} \int_{-\infty}^y e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2} dy \quad \dots(21)$$

$$\text{Si } Z = \frac{y - \mu_y}{\sigma_y} = \frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y} \quad \dots(22)$$

Entonces se logra, la distribución normal estándar:

$$F(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Z e^{-\frac{Z^2}{2}} dZ \quad \dots(23)$$

$$Z \approx N(0,1)$$

Estimación de parámetros

Aplicando el método de momentos, las relaciones entre la varianza de X , los parámetros μ_y , σ_y^2 y la media que se obtienen, son:

$$\text{Media: } \bar{X} = E(x) = e^{\mu_y + \frac{\sigma_y^2}{2}} \quad \dots(24)$$

$$\text{Varianza } S^2 = E[x - E(x)]^2 = e^{2\mu_y + \sigma_y^2} (e^{\sigma_y^2} - 1)$$

$$\text{Desviación estándar: } S = e^{\mu_y + \frac{\sigma_y^2}{2}} (e^{\sigma_y^2} - 1)^{1/2}$$

$$\text{Coeficiente de variación: } C_v = \frac{S}{\bar{X}} = (e^{\sigma_y^2} - 1)^{1/2}$$

$$C_v^2 = e^{\sigma_y^2} - 1$$

$$1 + C_v^2 = e^{\sigma_y^2} \quad \dots(25)$$

Tomando logaritmos a la ecuación (25), se tiene:

$$\ln(1 + C_v^2) = \sigma_y^2$$

Por lo tanto

$$\sigma_y^2 = \ln(1 + C_v^2) \quad \dots(26)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\ln(1 + C_v^2)} \quad \dots(27)$$

Tomando logaritmos a la ecuación (24), resulta:

$$\ln \bar{X} = \mu_y + \frac{\sigma_y^2}{2}$$

$$\mu_y = \ln \bar{X} - \frac{\sigma_y^2}{2} \quad \dots(28)$$

Sustituye (26) en (28)

$$\mu_y = \ln \bar{X} - \frac{1}{2} \ln(1 + C_v^2)$$

$$\mu_y = \frac{1}{2} \ln \bar{X}^2 - \frac{1}{2} \ln(1 + C_v^2)$$

$$\mu_y = \frac{1}{2} \left(\ln \bar{X}^2 - \ln(1 + C_v^2) \right)$$

$$\mu_y = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\bar{X}^2}{1 + C_v^2} \right) \quad \dots(29)$$

Prontamente, cedido un grupo de datos $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, con parámetros \bar{X}, S^2, S, C_v , los parámetros μ_y, σ_y^2 , de la distribución

Log-Normal de dos, logrados por el técnica de momentos, se computan con las funciones (29) y (26), respectivamente.

2.2.14.10. Log – Normal de tres parámetros

Según Villón (2002), defiere del Log-Normal de dos parámetros por la inserción de un rango inferior x_0 , de tal manera que:

$$y = \ln(x - x_0) \Rightarrow y \approx N(\mu_y, \sigma_y^2)$$

Función densidad

La función es:

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0)\sigma_y \sqrt{2\Pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-x_0)-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2} \quad \dots(30)$$

para $-\infty < x < \infty$

En el que:

x_0 = Media de posición en el dominio x

μ_y = Medida de escala en el dominio x

σ_y = Medida de forma en el dominio x

Estimación de parámetros

Usando la técnica de momentos, las correspondencias entre media, la varianza y el coeficiente sesgo, de la inconstante X y las medidas x_0, μ_y, σ_y^2 , que se logra, son:

Media: $\bar{X} = E(x) = x_0 + e^{\mu_y + \frac{\sigma_y^2}{2}}$... (31)

Varianza: $S^2 = E[x - E(x)]^2 = e^{2\mu_y + \sigma_y^2} (e^{\sigma_y^2} - 1)$... (32)

coeficiente de sesgo: $C_s = g = (e^{\sigma_y^2} - 1)^{\frac{1}{2}} (e^{\sigma_y^2} + 2)$... (33)

ó

$$C_s = g = 0.52 + 4.85\sigma_y^2 \quad \dots(34)$$

Para los datos muestrales el coeficiente de sesgo es:

$$C_s = g = \frac{N^2 M_3}{(N-1)(N-2)S^3} \quad \dots(35)$$

dónde:

$$M_3 = \frac{\sum (x_i - \bar{X})^3}{N} \quad \dots(36)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad \dots(37)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{N} \quad \dots(38)$$

luego:

de la ecuación (34): $\sigma_y = \sqrt{\frac{C_s - 0.52}{4.85}}$... (39)

de (32): $\mu_y = \frac{1}{2} \left[\ln \left(\frac{S^2}{e^{\sigma_y^2} - 1} \right) - \sigma_y^2 \right]$... (40)

De (31): $x_0 = \bar{X} - e^{\mu_y + \frac{\sigma_y^2}{2}}$... (41)

Prontamente, originado un grupo de datos o valores $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, con medidas $\bar{X}, S^2, S, C_v, C_s$, los parámetros x_0, μ_y, σ_y^2 , de Log-Normal de tres parámetros, logrados por la técnica de momentos, se calculan con las funciones (41), (40) y (39), respectivamente.

Nota limitante:

De la ecuación (39), se observa que para que figure un valor efectivo de σ_y , C_s debe ser superior a 0.52, por lo opuesto, su valor será ficticio.

2.2.14.11. Gamma de dos parámetros

Según Villón (2002), **la función densidad**

Se denota que una inconstante eventual X , posee una distribución gamma de dos parámetros si su función densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \quad \dots(42)$$

Para:

$$0 \leq x < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Dónde:

γ = Medida forma positiva

β = Medida escala positiva

$\Gamma(\gamma)$ = Función gamma completa, precisada así:

$$\Gamma(\gamma) = \int_0^{\infty} x^{\gamma-1} e^{-x} dx \text{ que converge si } \gamma > 0$$

La función gamma tiene las siguientes propiedades:

$$\Gamma(\gamma) = (\gamma - 1)! \text{ para } \gamma = 1, 2, 3, \dots$$

$$\Gamma(\gamma + 1) = \gamma \times \Gamma(\gamma) \text{ para } \gamma > 0$$

$$\Gamma(1) = \Gamma(2) = 1$$

$$\Gamma(1/2) = \sqrt{\pi}$$

$$\Gamma(0) = \infty$$

Si $\gamma > 0$ pero entero, $\Gamma(\gamma)$ puede ser calculado por la expansión de series e integración numérica por:

$$\Gamma(\gamma) = \gamma^\gamma e^{-\gamma} \sqrt{\frac{2\pi}{\gamma}} \left[1 + \frac{1}{12\gamma} + \frac{1}{288\gamma^2} - \frac{139}{51840\gamma^3} - \frac{571}{2488320\gamma^4} + \dots \right]$$

Función acumulada

La ecuación de distribución acumulada, de la función gamma incompleta de dos parámetros se denota como:

$$F(x) = \int_0^x \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} dx \quad \dots(43)$$

La integral de la función (43) puede calcularse para valores dados de β y γ . Aplicando prueba Chi Inversa, con valores de V (grados de libertad), se establece los valores de la posibilidad de excedencia $1 - F(x)$, siendo:

$$\chi^2 = \frac{2x}{\beta} \quad \dots(44)$$

y

$$v = 2\gamma \quad \dots(45)$$

Si γ es entero, la función de distribución gamma acumulada, según Mood et al (1974), puede calcularse por:

$$F(x) = 1 - e^{-\frac{x}{\beta}} \sum_{j=0}^{\gamma-1} \frac{\left(\frac{x}{\beta}\right)^j}{j!} \quad \dots(46)$$

La variable aleatoria reducida gamma de 2 parámetros, está dada por:

$$y = \frac{x}{\beta} \quad \dots(47)$$

la cual reduce la función densidad de probabilidad a:

$$g(y) = \frac{y^{\gamma-1} e^{-y}}{\Gamma(\gamma)} \quad \dots(48)$$

y la F.D.A. a:

$$G(y) = \int_0^y \frac{y^{\gamma-1} e^{-y}}{\Gamma(\gamma)} dy \quad \dots(49)$$

La representación de función densidad y función distribución acumulada, para la variable eventual X , que alcanza una distribución gamma, con $\gamma = 5$ y $\beta = 5.63$, donde se muestra en la figura 10.

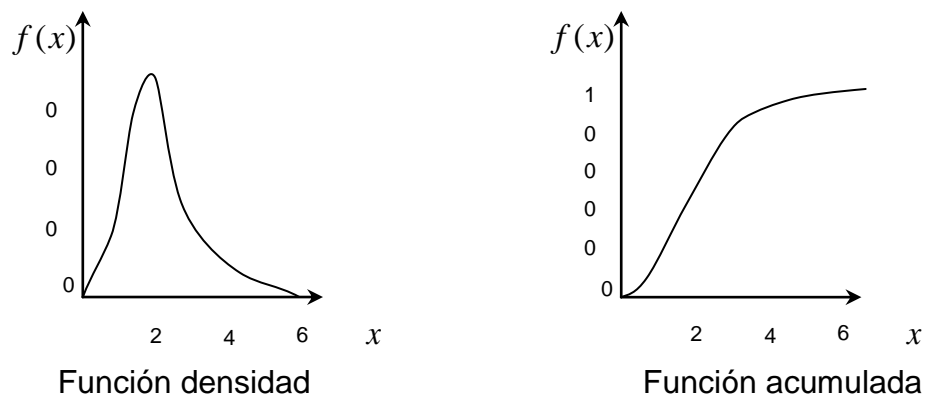


Figura 10. Función densidad y función acumulada.

Fuente: Hidrología estadística (Villón, 2002, p.199)

Estimación de parámetros

Usando la técnica de momentos, las correspondencias entre la media \bar{X} , la varianza S^2 y el coeficiente de sesgo C_s , de la variable X , y los parámetros β y γ de la distribución gamma, que se obtiene, son:

$$\text{Media: } \bar{X} = E(x) = \beta\gamma \quad \dots(50)$$

$$\text{Varianza: } S^2 = \beta^2\gamma \quad \dots(51)$$

$$\text{Coeficiente de sesgo: } C_s = g = \frac{2}{\gamma^2} \quad \dots(52)$$

De las ecuaciones (50) y (51), se tiene:

$$\gamma = \frac{\overline{X}^2}{S^2} \quad \dots(53)$$

De las ecuaciones (50) y (53), se tiene:

$$\beta = \frac{S^2}{\overline{X}} \quad \dots(54)$$

2.2.14.12. Gamma de tres parámetros o Pearson tipo III

Según Villón (2002), la **función densidad**

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \quad \dots(55)$$

Para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Función acumulada

La F.D.A. de la distribución gamma de tres parámetros es:

$$F(x) = \int_{x_0}^x \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} dx \quad \dots(56)$$

En la cual:

x = Inconstante eventual gamma de tres parámetros

x_0 = Comienzo de la inconstante X, medida de posición

β = Medida escala

γ = Medida forma

$\Gamma(\gamma)$ = Función gamma

La representación gráfica de la función densidad y función de distribución acumulada, para $x_0 = 10$, $\beta = 5$ y $\gamma = 3$, se muestra en la figura 11.

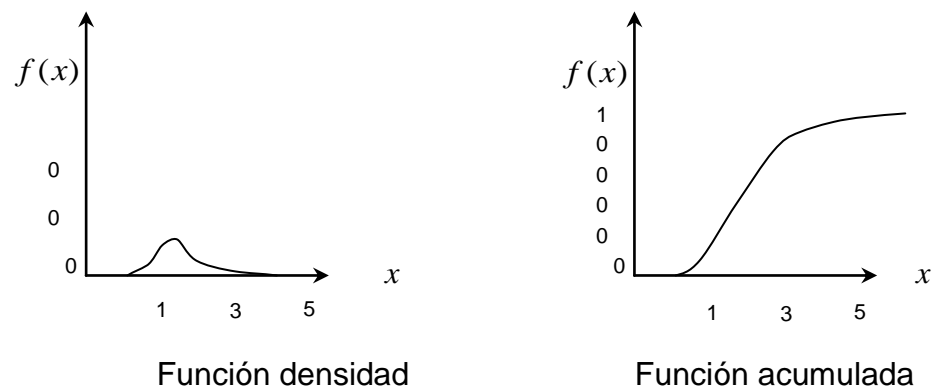


Figura 11. Función densidad y acumulada gamma de 3 parámetros.

Fuente: Hidrología estadística (Villón, 2002, p.202)

La variable comprimida y gamma de 3 parámetros, es:

$$y = \frac{x - x_0}{\beta} \quad \dots(57)$$

La función acumulada Pearson tipo III comprimida es:

$$G(y) = \int_0^y \frac{y^{\gamma-1} e^{-y}}{\Gamma(\gamma)} dy \quad \dots(58)$$

La variable eventual tienen inicio en $y = 0$ ó $x = x_0$.

Estimación de parámetros

Usando la técnica de momentos, se determinan las relaciones a continuación:

$$\text{Media: } \bar{X} = x_0 + \beta\gamma \quad \dots(59)$$

$$\text{Varianza: } S^2 = \beta^2\gamma \quad \dots(60)$$

$$\text{Sesgo: } C_s = g = \frac{2}{\sqrt{\gamma}} \quad \dots(61)$$

Resolviendo las ecuaciones (59), (60) y (61), se obtiene:

$$\gamma = \frac{4}{C_s^2} \quad \dots(62)$$

$$\beta = \frac{C_s S}{2} \quad \dots(63)$$

$$x_0 = \bar{X} - \frac{2S}{C_s} \quad \dots(64)$$

Para calcular de C_s , para valores muestrales se deben utilizar ecuaciones siguientes:

$$C_s = g = \frac{N^2 M_3}{(N-1)(N-2)S^3} \quad \dots(65)$$

dónde:

$$M_3 = \frac{\sum (x_i - \bar{X})^3}{N} \quad \dots(66)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad \dots(67)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{N} \quad \dots(68)$$

Nota:

Limita: Si $C_s < 0$, de la ecuación (63), β sería negativo, lo que no ejecuta con la situación que $\beta > 0$.

2.2.14.13. Log – Pearson tipo III

Según Villón (2002), indica **función densidad**

Si su ecuación densidad de posibilidad fuera:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \quad \dots(69)$$

Para:

$$X_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < X_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

En el que:

x_0 = Medida posición

β = Medida escala

γ = Medida forma

Función acumulada

La F.D.A de distribución log-Pearson tipo III, será:

$$f(x) = \int_{x_0}^x \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} dx \quad \dots(70)$$

En el que:

x_0 = Parámetro posición

β = Parámetro escala

γ = Parámetro forma

La inconstante reducida y log-Pearson tipo 3, es:

$$y = \frac{\ln x - x_0}{\beta} \quad \dots(71)$$

Consistiendo la función acumulada log-Pearson tipo 3 comprimida:

$$G(y) = \int_0^y \frac{y^{\gamma-1} e^{-y}}{\Gamma(\gamma)} dy \quad \dots(72)$$

Su parámetro es γ , y cuya variable eventual tienen inicio en $y = 0$ ó $x = x_0$.

Estimación de parámetros

Con la técnica de momentos, obtenemos las siguientes relaciones:

$$\text{Media: } \bar{X}_{\ln x} = x_0 + \beta\gamma \quad \dots(73)$$

$$\text{Varianza: } S_{\ln x}^2 = \beta^2\gamma \quad \dots(74)$$

$$\text{Sesgo: } C_{S_{\ln x}} = g = \frac{2}{\sqrt{\gamma}} \quad \dots(75)$$

Resolviendo las ecuaciones (73), (74) y (75), se obtiene:

$$\gamma = \frac{4}{C_{S_{\ln x}}^2} \quad \dots(76)$$

$$\beta = \frac{C_{S_{\ln x}} S_{\ln x}}{2} \quad \dots(77)$$

$$x_0 = \bar{X}_{\ln x} - \frac{2S_{\ln x}}{C_{S_{\ln x}}} \quad \dots(78)$$

Para el cálculo de los siguientes datos:

$$x_0, x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$$

Cambiamos en logaritmos, posteriormente se determina la media, desviación estándar, y coeficiente de sesgo, con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Media: } \bar{X}_{\ln x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln x_i \quad \dots(79)$$

Desviación estándar:

$$S_{\ln x} = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\ln x_i - \bar{X}_{\ln x})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots(80)$$

$$\text{Sesgo: } C_{S_{\ln x}} = \frac{N \sum_{i=1}^N (\ln x_i - \bar{X}_{\ln x})^3}{(N-1)(N-2)S_{\ln x}^3} \quad \dots(81)$$

2.2.14.14. Gumbel

Según Villón (2002), es una de las distribuciones de valor alto.

Función acumulada

Se expresa de la forma:

$$F(x) = EXP(-EXP(-(x - \mu) / \alpha)) \quad \dots(82)$$

ó

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{(x-\mu)}{\alpha}}} \quad \dots(83)$$

Para:

$$-\infty < x < \infty$$

$$0 < \alpha < \infty$$

$$-\infty < \mu < \infty$$

Dónde:

α = Medida escala

μ = Medida posición.

Función de densidad

Derivando la función de ecuación (82), respecto a X , se consigue la función siguiente:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \text{EXP}\left(-\frac{(x-\mu)}{\alpha} - \text{EXP}\left(-\frac{(x-\mu)}{\alpha}\right)\right) \quad \dots(84)$$

ó

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\frac{(x-\mu)}{\alpha} - e^{-\frac{(x-\mu)}{\alpha}}} \quad \dots(85)$$

Para:

$$-\infty < x < \infty$$

La variable eventual comprimida Gumbel, se denota como:

$$y = \frac{x-\mu}{\alpha} \quad \dots(86)$$

Con el cual, la función densidad comprimida Gumbel es:

$$g(y) = \text{EXP}(-y - \text{EXP}(-y)) = e^{-y-e^{-y}} \quad \dots(87)$$

y la función acumulada comprimida Gumbel es:

$$G(y) = \text{EXP}(-\text{EXP}(-y)) = e^{-e^{-y}} \quad \dots(88)$$

Los datos correspondientes x e y , están relacionados por:

$$F(x) = G(y)$$

y la relación:

$$y = \frac{x - \mu}{\alpha} \quad \text{ó} \quad x = \mu + \alpha y$$

Estimación de parámetros

Aplicando la técnica de momentos, se obtiene las siguientes correspondencias:

$$\text{Moda: } X_{\text{moda}} = \mu$$

$$\text{Media: } E(x) = \bar{X} = \mu + \alpha C \quad \dots(89)$$

Donde C, es la constante de Euler, y el valor es:

$$C = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} - \ln n \right]$$

$$C = 0.5772156649$$

Entonces, de la ecuación (89), se tiene:

$$\bar{X} = \mu + 0.5772156649 \alpha \quad \dots(90)$$

$$\text{Varianza: } E[x - E(x)]^2 = S^2 = \frac{\Pi^2 \alpha^2}{6} \quad \dots(91)$$

de donde se obtiene:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\Pi} S = 0.78S \quad \dots(92)$$

$$\mu = \bar{X} - 0.5772156649 \alpha = \bar{X} - 0.45S \quad \dots(93)$$

Los parámetros de la distribución Gumbel α y μ , se determinan con las ecuaciones (92) y (93), en función de parámetros \bar{X} y S de la muestra.

2.2.14.15. Log – Gumbel

Villón (2002), denota de la manera siguiente:

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{(x-\mu)}{\alpha}}} \quad \dots(94)$$

para:

$$-\infty < x < \infty$$

$$0 < \alpha < \infty$$

$$-\infty < \mu < \infty$$

Dónde:

α = Parámetro escala

μ = Parámetro posición.

Si en la función (94), la inconstante X se reemplaza por $\ln x$, se logra la función acumulada de la distribución log-Gumbel.

La variable eventual comprimida de la distribución se denota como:

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha} \quad \dots(95)$$

Con el cual la ecuación acumulada comprimida Log-Gumbel es:

$$G(y) = EXP(-EXP(-y)) = e^{-e^{-y}} \quad \dots(96)$$

Estimación de parámetros

Aplicando la técnica de momentos, se determina los valores de parámetros α y μ de distribución log-Gumbel, los cuales son:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\Pi} S_{\ln x} = 0.78 S_{\ln x} \quad \dots(97)$$

$$\mu = \bar{X}_{\ln x} - 0.5772156649 \alpha = \bar{X}_{\ln x} - 0.45 S_{\ln x} \quad \dots(98)$$

Para la determinación de los parámetros de la sucesión de datos:

$$x_0, x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$$

Se cambia en logaritmos, posteriormente se determina la media, coeficiente de sesgo desviación estándar, y coeficiente de sesgo, con las siguientes expresiones:

$$\text{Media: } \bar{X}_{\ln x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln x_i \quad \dots(99)$$

Desviación estándar:

$$S_{\ln x} = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\ln x_i - \bar{X}_{\ln x})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots(100)$$

2.2.15. Diseño de enrocado

2.2.15.1. Sección sólida del río

Existen diferentes técnicas de cálculo de la sección del lecho del río, se contempla que las circunstancias de los ríos, demandan una inspección directa; en tal manera, en base a estudios en este tipo de obras en los ríos, se puede implantar una sección definida para el río. Donde recomienda en situaciones de valle, cotejar el ancho estable, como el caso de áreas forestadas, y en base a esto realizar los cálculos de otros parámetros. (Terán, 1998, p. 34).

Para calcular la sección estable consideramos la teoría del régimen estable de Altunnin o Blench, usando la siguiente formula:

$$B = 1.81 \left(\frac{Q F_b}{F_s} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots(101)$$

Dónde:

B = Ancho promedio de la sección

Q = Caudal de diseño (m³/seg)

F_b = factor fondo

F_b = Se considera en valor de 1.2 para materiales gruesos

$F_b = (D_m)^{\frac{1}{3}}$ para materiales como gravas

F_s = Factor orillas

F_s = Se considera en valor de 0.2 para materiales ligeramente cohesivos.

Tabla 6. *Valores promedios de factor de orilla "Fs".*

Tipo de Orilla	Valor de Fs
Materiales sueltos (Orilla de barro y arena)	0.1
Materiales ligeramente cohesivos (Orilla de barro-arcilla-fangoso)	0.2
Materiales cohesivos	0.3

Fuente: diseño y construcción de defensas ribereñas (Terán, 1998, p.35).

Asimismo podemos utilizar la fórmula de Henderson y Simons.

$$b = K_1(Q)^{\frac{1}{2}} \quad \dots(102)$$

Rango en que funcionan:

$$S = 0.06 - 0.100$$

$$D_m = 0.030 - 80.00\text{mm}$$

$$Q = 0.150 - 250.00 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Tabla 7. Valores de K_1 para la fórmula de Simons y Henderson.

fondo de río	K_1
Fondo y orillas de arena	5.7
Fondo arena y orillas de material cohesivo	4.2
Fondo y orillas de material cohesivo	3.6
Fondo y orillas de grava	2.9
Fondo arena y orillas material no cohesivo	2.8

Fuente: diseño y construcción de defensas ribereñas (Terán, 1998, p.35).

2.2.15.2. Tirante de avenida y altura de encauzamiento

Terán (1998) indica que “teniendo en contemplación la máxima avenida de diseño del trabajo, la inclinación media del lugar del proyecto, el factor de rugosidad de Manning y la sección solida del río, se precisa el tirante máximo” (p.35).

Según la ecuación siguiente:

$$Q = \frac{\left(AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \right)}{n} \quad \dots(103)$$

En el que: ⁿ

Q = Caudal de avenida (m³/seg.)

A = Área de la sección (m²)

R = Radio hidráulico (m)

S = Pendiente del cauce (%)

n = Rugosidad.

La altura de dique encausado será igual al tirante de avenida más un margen libre, expresado con la siguiente formula:

$$H = h + B_L \quad \dots(104)$$

$$B_L = \theta e \quad \dots(105)$$

$$e = \frac{V^2}{2g} = \frac{Q^2}{2gA^2} \quad \dots(106)$$

En el que:

H = Altura de dique (m)

h = Tirante de la avenida (m)

B_L = Borde libre (m)

V = Velocidad media del agua (m/s)

g = Gravedad (m/s^2)

θ = Coeficiente en función de la máxima avenida y pendiente

e = Energía de velocidad

Tabla 8. *Factor recomendado para el borde libre*

Q_{\max} (m ³ /s)	Factor
3,000.00 – 4,000.00	2.00
2,000.00 - 3,000.00	1.70
1,000.00 – 2,000.00	1.40
500.00 – 1,000.00	1.20
100.00 – 500.00	1.10

Fuente: diseño y construcción de defensas ribereñas (Terán, 1998, p.36).

Formula **Manning y Strickler**:

$$V_m = K_s R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad \dots(107)$$

Dónde:

V_m = Velocidad media (m/s)

R = Radio hidráulico (m)

S = Inclinación (%)

K_s = Coeficiente de rugosidad según la tabla 09.

Considerando valores de transporte de materiales para secciones anchas $b_o > 30m$

Tenemos:

$$Q = b_o * t (K_s t^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}) \quad \dots(108)$$

$$T = \left(\frac{Q}{K_s * b_o * S^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{5}} \quad \dots(109)$$

Tabla 9. *Valores de Ks.*

DESCRIPCIÓN	Ks
Lecho natural de río con fondo duro sin irregularidades	40
Lecho natural de río con transporte regular	33 – 35
Lecho natural de río con vegetación	30 – 35
Lecho natural de río con irregularidades	30
Lecho natural de río con transporte considerable	28
Arroyos con derrubios gruesos (piedra de tamaño de 6" - 8") sin transporte	25 – 28
Torrentes con derrubio grueso, con transporte	19 - 22

Fuente: Bretschneider, citado por (Terán, 1998).

2.2.15.3. Profundidad de socavación

Para calcular la profundidad de socavación se utiliza la fórmula de *L.L. List Van Lebediev*, es el más usado en trabajos en cauces naturales. Donde se evaluó la máxima erosión sobre todo en cambios de dirección del flujo del agua y se expresa:

$$V_e = 0.5\gamma^{1.18} B.t_s^x \quad \dots(110)$$

La velocidad V_e se presenta cuando existen retracciones en el río, así como la presencia de puentes, alcantarillas, entre otras estructuras. Donde se aplica con suelos cohesivos

y rugosidad equivalente. Considerando la sección estable y a altura del nivel de agua calculada, se tiene:

$$Q = K_s b_o t^{\frac{5}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad \dots(111)$$

Haciendo $a = K_s S^{\frac{1}{2}}$ como una constante, se tiene:

$$Q = ab_o t^{\frac{5}{3}} \quad \dots (112)$$

Luego:

$$a = \frac{Q}{b_o t^{\frac{5}{3}}} \quad \dots(113)$$

La velocidad real V_r , aumenta de acuerdo a la profundidad t_s (altura para calcular la velocidad erosiva), donde reducirá de tal manera que queda:

$$Q = V_r t_s b_o = ab_o t^{\frac{5}{3}} \quad \dots(114)$$

Despejando V_r :

$$V_r = \frac{ab_o t^{\frac{5}{3}}}{t_s} \quad \dots(115)$$

La socavación del fondo del río se interrumpirá a una profundidad en la que cumpla la siguiente condición:

$$V_e = V_r$$

Sustituyendo valores de V_e y V_r se tiene

$$0.6\gamma_s^{1.18} B t_s^x = \frac{at^{\frac{5}{3}}}{t_s} \quad \dots(116)$$

Despejando t_s obtenemos:

$$\text{(Suelo cohesivo)} \quad t_s = \left[\frac{at^{\frac{5}{3}}}{0.6\gamma_s^{1.18} B} \right]^{\frac{1}{1+x}} \quad \dots(117)$$

En forma equivalente se tiene para suelos no cohesivos:

$$V_e = 0.68 D m^{0.28} B t_s^x \quad \dots(118)$$

Luego:

$$t_s = \left[\frac{at^{\frac{5}{3}}}{0.6 D m^{0.28} B} \right]^{\frac{1}{1+x}} \quad \dots(119)$$

Prontamente la profundidad de socavación será:

$$H_s = t_s - t \quad \dots(120)$$

En el que:

V_e = Velocidad erosiva (m/s).

V_r = Velocidad real (m/s).

γ_s = Peso específico del suelo en Ton/m³ (Tabla 12).

B = Coeficiente dependiente de la frecuencia con que se redonda la avenida (Tabla 10).

Q = Descarga máxima (m³/seg).

b_o = Sección solida determinada.

t_s = Tirante de depresión en el que se evaluó la velocidad erosiva (m).

t = Tirante normal (m).

H_s = Fondo de socavación (m).

x = Exponente para material no cohesivo en base al diámetro (Tabla 11).

D_m = diámetro medio (m).

Tabla 10. *Coeficiente para socavación "B".*

Probabilidad de que se presente el caudal de diseño (%)	B
0.0	0.770
50.0	0.820
20.0	0.860
5.0	0.940
2.0	0.970
1.0	1.000
0.30	1.030
0.20	1.050
0.10	1.070

Fuente: Picandex Kreimer, citado por (Terán, 1998).

Tabla 11. Valores de x , $1/(x+1)$.

Peso específico (T/m ³)	Suelos cohesivos		Suelos no cohesivos		
	x	$1/(x+1)$	D (mm)	x	$1/(x+1)$
0.8	0.52	0.66	0.05	0.43	0.7
0.83	0.51	0.66	0.15	0.42	0.7
0.86	0.5	0.67	0.5	0.41	0.71
0.88	0.49	0.67	1	0.4	0.71
0.9	0.48	0.67	1.5	0.39	0.72
0.93	0.47	0.68	2.5	0.38	0.72
0.96	0.46	0.68	4	0.37	0.73
0.98	0.45	0.69	6	0.36	0.74
1	0.44	0.69	8	0.35	0.74
1.04	0.43	0.7	10	0.34	0.75
1.08	0.42	0.7	15	0.33	0.75
1.12	0.41	0.71	20	0.32	0.76
1.16	0.4	0.71	25	0.31	0.76
1.2	0.39	0.72	40	0.3	0.77
1.24	0.38	0.72	60	0.29	0.78
1.28	0.37	0.73	90	0.28	0.78
1.34	0.36	0.74	140	0.27	0.79
1.4	0.35	0.74	190	0.26	0.79
1.46	0.34	0.75	250	0.25	0.8
1.52	0.33	0.75	310	0.24	0.81
1.58	0.32	0.76	370	0.23	0.81
1.64	0.31	0.76	450	0.22	0.83
1.71	0.3	0.77	570	0.21	0.83
1.8	0.29	0.78	750	0.2	0.83
1.89	0.28	0.78	1000	0.19	0.84
2	0.27	0.79	0.7	-	-

Fuente: Picandex Kreim, citado por (Terán, 1998).

Tabla 12. *Peso específico y ángulos medios de fricción.*

	Tipo de suelo	(Ton/m³)	Angulo
Terraplén	Seca	1.4	37°
	Húmeda	1.6	45°
	Saturada	1.8	30°
Arena	Seca	1.6	33°
	Húmeda	1.8	40°
	Saturada	2	25°
légamo diluvial	Seco	1.5	43°
	Húmedo	1.9	20°
Arcilla	Seca	1.6	45°
	Húmeda	2	22°
Gravilla	Gravilla seca	1.83	37°
	Gravilla húmeda	1.86	25°
Grava de cantos	Vivos	1.8	45°
	Rodados	1.8	30°

Fuente: Picandex Kreim, citado por (Terán, 1998).

2.2.15.4. Profundidad de uña

Para Terán (1998) “determinar la altura de socavación, está precisada hasta donde profundizaría el río, depresión hasta la cual deberán construirse las cimentaciones de las estructuras” (p.85).

Para el caso de estructuras longitudinales de enrocado, el pie de estas en su cara húmeda está sujeto a socavación. Siendo necesario construir estructuras antisocavantes que den estabilidad, caso diques enrocados, muros gaviones, etc.

Suelos cohesivos

Se calcula en valor de t_s . Utilizando la ecuación (117):

$$t_s = \left[\frac{at^{\frac{5}{3}}}{0.6y^{1.18}B} \right]^{\frac{1}{(1+X)}}$$

Donde la profundidad de la uña será:

$$P_{u\tilde{n}a} = t_s - t$$

Suelos no cohesivos

Se asume que el material del lecho de río será roca acomodada floja con $D = 1000 - 1500$ mm. y $X = 0.84$, obteniendo una profundidad. Y aplicando la ecuación (119).

$$H_s = t_s$$

$$t_s = \left[\frac{at^{\frac{5}{3}}}{0.6Dm^{0.28}B} \right]^{\frac{1}{(1+X)}}$$

Para el caso se asume que $t_s = P_{u\tilde{n}a}$.

El ancho de la uña en la base será:

$$A_{u\tilde{n}a} = 1.5 * P_{u\tilde{n}a}$$

2.2.15.5. Calculo del Volumen de roca

Es necesario calcular la fuerza activa y la masa de la roca que compensará a está.

Fuerza de empuje

La fuerza unitaria de empuje ejercida por la presión del flujo del agua es:

$$F = \frac{D_w C_d V^2 A}{2} \quad \dots(121)$$

Dónde:

F = Fuerza de empuje (kg)

D_w = Densidad del agua (kg/m³)

C_d = Coeficiente de arrastre

A = Área de cara de partícula (m²)

V = Velocidad del flujo (m/s)

La masa de roca que contrarresta el esfuerzo de empuje es:

$$V_r = \frac{W_s}{(P_r - P_w)} \quad \dots(122)$$

W_s = Peso sumergido de roca (kg.).

P_r = Peso específico de roca sumergida en (kg/m³).

P_w = Peso específico de agua (Kg/m^3).

V_r = Volumen de roca (m^3).

2.2.15.6. Cálculo de factor de talud (f)

Para calcular el factor de talud se utilizara la formula siguiente:

$$f = \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2 \alpha}{\text{sen}^2 \theta}} \quad \dots(123)$$

α = Angulo de talud

θ = Angulo de fricción del material

2.2.15.7. Calculo de peso específico del solido sumergido

Densidad del material será:

$$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \quad \dots(124)$$

Dónde:

γ_s = Densidad de roca.

γ = Densidad de agua.

2.2.15.8. Cálculo del diámetro de roca (d_{50})

Se calcula con esta fórmula:

$$d_{50} = \frac{b}{\Delta} * \frac{V^2}{2g} * \frac{1}{f} \quad \dots(125)$$

Dónde:

b = factor para turbulencia, para rocas redondas, sin movimiento, se adopta el valor de $b=1.4$.

f = Factor de talud.

V = Velocidad media de agua (m/s).

g = Gravedad (m/s^2).

2.2.15.9. Calculo de factor de estabilidad (n)

Se calcula con la siguiente formula:

$$n = 0.56 \left[\frac{V^2}{2g * \Delta * d_{50}} \right] \quad \dots(126)$$

En el que:

f = Factor de talud.

V = Velocidad media de agua (m/s).

g = Gravedad (m/s^2).

d_{50} = Diámetro de la roca (m).

Δ = Peso específico relativo del material solido sumergido.

2.2.15.10. Calculo de probabilidad de movimiento de piedra con (d_{50}) .

Se calcula con la siguiente formula:

$$\frac{\tau_c}{t} = \frac{1}{n} = \text{Resultado} > 0.99 \quad \dots(127)$$

Dónde:

n = factor de estabilidad

2.2.15.11. Calculo del peso de la piedra (W_{50}).

Se calcula con la siguiente formula:

$$W_{50} = \Delta \gamma_s d_{50}^3 \quad \dots(128)$$

Dónde:

Δ = Peso específico relativo del material roca sumergido

γ_s = Densidad de roca (kg/m^3)

d_{50} = Diámetro de la roca (m)

2.2.15.12. Calculo de estabilidad del terraplén

Se calcula:

a. Calculo de fuerza resistente

$$R = Wtg\theta \quad \dots(129)$$

R = Fuerza resistente (kg/m)

W = Peso de terraplén (Kg)

θ = Angulo de fricción interna

b. Calculo de la presión del flujo

$$P = \frac{P_w H^2}{2} \quad \dots(130)$$

En el que:

P_w = Peso específico de agua (kg/m³)

H = Tirante de agua (m)

2.3. Términos básicos

2.3.1. Máximas avenidas.

Es la ocurrencia de un aumento de agua medida en caudal que en muchos casos supera los terraplenes de los cauces naturales, por las precipitaciones máximas temporales anuales que ocasionan inundaciones.

2.3.2. Inundaciones.

Se define como el cubrimiento por el agua en áreas cultivables o viviendas y que estas son a causa de los desbordes de ríos en épocas de máximas avenidas.

2.3.3. Defensas ribereñas

Se define como estructuras que mitigan la erosión de los ríos por socavación y control de desbordes de las aguas fluviales en épocas de máximas avenidas.

CAPITULO III. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Análisis cuantitativo de variables

3.1.1. Determinación de máxima avenida de diseño

3.1.1.1. Caudales máximos anuales (m³/s) – río Coata

Tabla 13. *Registro de caudales máximos anuales.*

AÑOS	CAUDAL MÁXIMO ANUAL (m ³ /s)	AÑOS	CAUDAL MÁXIMO ANUAL (m ³ /s)
1958	282.20	1995	103.82
1959	365.00	1996	277.25
1960	292.20	1997	501.39
1961	469.50	1998	107.50
1962	337.50	1999	225.26
1963	453.80	2000	296.76
1964	138.15	2001	338.56
1965	117.50	2002	166.98
1966	135.00	2003	254.69
1967	326.50	2004	337.16
1968	238.40	2005	365.25
1969	151.80	2006	212.36
1970	428.00	2007	244.74
1971	986.00	2008	327.55
1972	315.00	2009	235.87
1973	624.00	2010	662.28
1974	410.00	2011	280.23
1975	420.00	2012	439.72
1976	300.00	2013	282.80
1977	350.00	2014	227.97
1978	527.50	2015	228.96
1979	229.80	2016	334.99
1991	121.75	2017	336.29
1992	48.48	2018	330.63
1993	97.50	2019	331.31
1994	260.42		

Fuente: SENAMHI (*Estación Unocolla*).

Para completar los datos de los años 2016, 2017, 2018, 2019 se utilizó el método de las tendencias multiparametrico o multivariable. Con la siguiente ecuación:

$$P_x = \frac{1}{3} \left(\frac{N_x}{N_A} P_A + \frac{N_x}{N_B} P_B + \frac{N_x}{N_C} P_C \right)$$

Dónde:

P_x = Dato faltante que se va a estimar.

N_A, N_B, N_C = Precipitación anual normal en las estaciones índices.

P_A, P_B, P_C = Precipitaciones de las estaciones durante el periodo de tiempo del dato faltante.

Del dato faltante que se está estimando.

N_x = Precipitación anual (estación X).

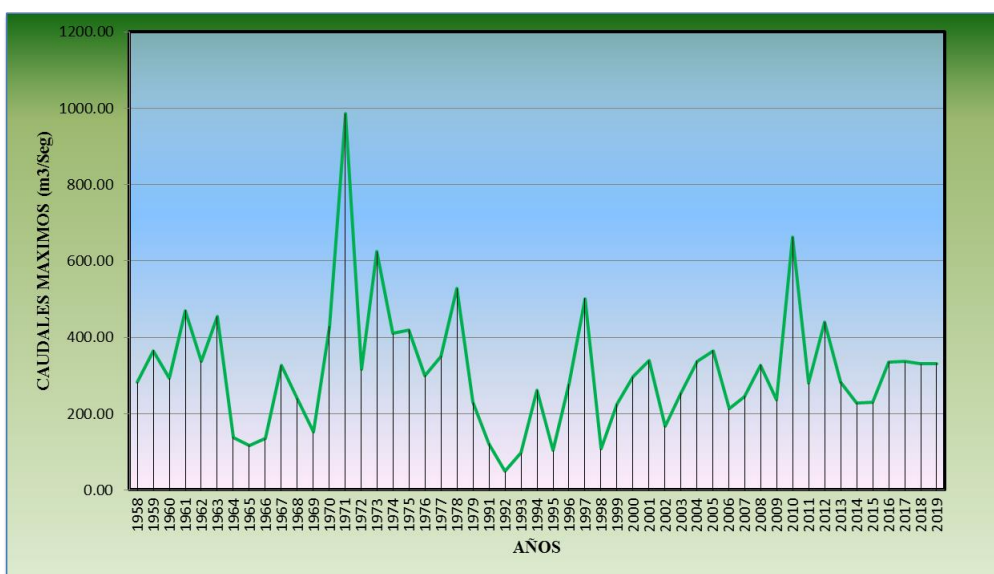


Figura 12. Serie de caudales máximos anuales - Estación Unocolla.
Fuente: Elaboración propia.

3.1.1.2. Cálculo de los parámetros estadísticos

Realizando los cálculos de la tabla 13, se tiene la tabla 14:

Tabla 14. Logaritmo de los caudales ordenados.

m	Caudal x	Caudal x Ordenado	$\text{Ln}(x)$	$\log(x)$
1	282.20	48.48	5.64262	2.45056
2	365.00	97.50	5.89990	2.56229
3	292.20	103.82	5.67744	2.46568
4	469.50	107.50	6.15167	2.67164
5	337.50	117.50	5.82157	2.52827
6	453.80	121.75	6.11766	2.65686
7	138.15	135.00	4.92834	2.14035
8	117.50	138.15	4.76644	2.07004
9	135.00	151.80	4.90527	2.13033
10	326.50	166.98	5.78843	2.51388
11	238.40	212.36	5.47395	2.37731
12	151.80	225.26	5.02256	2.18127
13	428.00	227.97	6.05912	2.63144
14	986.00	228.96	6.89366	2.99388
15	315.00	229.80	5.75257	2.49831
16	624.00	235.87	6.43615	2.79518
17	410.00	238.40	6.01616	2.61278
18	420.00	244.74	6.04025	2.62325
19	300.00	254.69	5.70378	2.47712
20	350.00	260.42	5.85793	2.54407
21	527.50	277.25	6.26815	2.72222
22	229.80	280.23	5.43721	2.36135
23	121.75	282.20	4.80197	2.08547
24	48.48	282.80	3.88115	1.68556
25	97.50	292.20	4.57985	1.98900
26	260.42	296.76	5.56230	2.41567
27	103.82	300.00	4.64266	2.01628
28	277.25	315.00	5.62492	2.44287
29	501.39	326.50	6.21738	2.70018
30	107.50	327.55	4.67749	2.03141
31	225.26	330.63	5.41726	2.35268
32	296.76	331.31	5.69292	2.47241
33	338.56	334.99	5.82470	2.52964
34	166.98	336.29	5.11787	2.22266
35	254.69	337.16	5.54005	2.40601
36	337.16	337.50	5.82056	2.52784

37	365.25	338.56	5.90058	2.56259
38	212.36	350.00	5.35828	2.32707
39	244.74	365.00	5.50020	2.38870
40	327.55	365.25	5.79164	2.51528
41	235.87	410.00	5.46328	2.37267
42	662.28	420.00	6.49569	2.82104
43	280.23	428.00	5.63561	2.44751
44	439.72	439.72	6.08614	2.64318
45	282.80	453.80	5.64474	2.45148
46	227.97	469.50	5.42921	2.35788
47	228.96	501.39	5.43355	2.35976
48	334.99	527.50	5.81411	2.52504
49	336.29	624.00	5.81798	2.52672
50	330.63	662.28	5.80100	2.51934
51	331.31	986.00	5.80307	2.52024

Fuente: elaboración propia.

a. Media aritmética.

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i = 311.30$$

$$\bar{X}_{\ln x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln x_i = 5.61$$

Dónde:

N = Tamaño muestral

X = Caudales

b. Desviación estándar

$$S = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 161.95$$

$$S_{\ln x} = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\ln x_i - \bar{X}_{\ln x})^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 0.55$$

Dónde:

N = Tamaño muestral

X = Caudales

c. Varianza

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 = 26,227.70$$

$$S_{\ln x}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\ln x_i - \bar{X}_{\ln x})^2 = 0.30$$

Dónde:

N = Tamaño muestral

X = Caudales

d. Coeficiente de variación

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} = 0.52$$

Dónde:

S = desviación estándar

\bar{X} = media aritmética

e. Coeficiente de asimetría o sesgo

$$C_s = \frac{N \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^3}{(N-1)(N-2)S^3} = 1.61$$

$$C_{S \ln x} = \frac{N \sum_{i=1}^N (\ln x_i - \bar{X}_{\ln x})^3}{(N-1)(N-2)S_{\ln x}^3} = -0.69$$

Dónde:

S= desviación estándar

N= Tamaño muestral

X= Caudales

\bar{X} = media aritmética

3.1.1.3. Distribuciones de probabilidades teóricas

3.1.1.3.1. Normal o gaussiana

Calculando con la siguiente ecuación (5):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}S} \text{EXP} \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \bar{X}}{S} \right)^2 \right]$$

Operando en esta función el caudal para un tiempo de retorno de **50 años** es de **643.905 m³/s.** (VER ANEXO I)

3.1.1.3.2. Log-Normal de dos parámetros

Calculando con la siguiente función (16):

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\Pi}\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2}$$

Reemplazando valores a esta ecuación, el caudal para el tiempo de venida de **50 años** es **754.554 m³/s**.

(VER ANEXO I)

3.1.1.3.3. Log-Normal de tres parámetros

Calculando con la función (30):

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0)\sigma_y\sqrt{2\Pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-x_0) - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2}$$

Reemplazando valores a esta ecuación, el caudal para el tiempo de venida de **50 años** es **752.150 m³/s**.

(VER ANEXO I)

3.1.1.3.4. Gamma de 2 parámetros

Calculando con la siguiente ecuación (42):

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma}\Gamma(\gamma)}$$

Reemplazando valores a esta ecuación, el caudal para el tiempo de venida de **50 años** es **700.236 m³/s.** (VER ANEXO I)

3.1.1.3.5. Gamma de 3 parámetros o Pearson tipo III

Calculando con la siguiente ecuación (55):

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)}$$

Reemplazando valores a esta función, el caudal para un tiempo de retorno de **50 años** es **753.165 m³/s.** (VER ANEXO I)

3.1.1.3.6. Log – Pearson tipo III

Calculando con la siguiente ecuación (69):

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x \beta^\gamma \Gamma(\gamma)}$$

Reemplazando valores a esta ecuación, el caudal para un tiempo de venida de **50 años** es **704.796 m³/s.** (VER ANEXO I)

3.1.1.3.7. Distribución Gumbel

Calculando con la siguiente ecuación (82):

$$F(x) = EXP(-EXP(-(x - \mu) / \alpha))$$

Reemplazando valores a esta ecuación, el caudal para un tiempo de venida de **50 años** es **731.119 m³/s.**
(VER ANEXO I)

3.1.1.3.8. Log-Gumbel

Calculando con la siguiente ecuación (94):

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{(x-\mu)}{\alpha}}}$$

Reemplazando valores a esta ecuación, el caudal para un tiempo de venida de **50 años** es **1,122.941 m³/s.** (VER ANEXO I)

3.1.1.4. Cuadro comparativo de resultados

Tabla 15. Cuadro comparativo de resultado de caudales y periodos.

Periodos de Retorno (T)	Normal o gaussiana	Log - normal de 2 parámetros	Log - normal de 3 parámetros	Gamma de 2 parámetros	Pearson tipo III	Log - Pearson tipo III	Gumbel	Log - Gumbel	Q promedio
Método de Momentos									
2	311.301	276.164	276.969	267.324	265.103	308.760	284.695	249.357	279.959
5	447.601	416.921	418.309	412.972	413.757	458.798	427.815	403.961	425.017
10	518.847	517.083	517.980	506.230	518.913	546.027	522.572	555.979	525.454
20	577.684	617.704	617.525	592.593	621.036	620.446	613.466	755.302	626.970
30	608.303	677.587	676.534	640.971	679.832	659.491	665.755	900.883	688.669
40	628.716	720.704	718.923	674.554	721.222	685.500	702.620	1020.087	734.041
50	643.905	754.554	752.150	700.236	753.165	704.796	731.119	1122.941	770.358
100	688.052	862.246	857.570	778.291	851.638	760.353	819.283	1511.554	891.123
200	728.455	974.223	966.769	854.220	949.185	810.108	907.126	2032.447	1027.817
300	750.679	1041.897	1032.580	897.837	1005.901	836.864	958.430	2416.159	1117.543
400	765.899	1090.940	1080.192	928.474	1046.007	854.894	994.809	2731.377	1186.574
500	777.418	1129.585	1117.665	952.076	1077.047	868.364	1023.017	3003.840	1243.627

Fuente: elaboración propia.

En el presente trabajo se consideró como el **Q₅₀ diseño**, el promedio aritmético obtenido de ocho métodos estadísticos, para el tiempo de venida de 50 años.

$$\mathbf{Q_{50} \text{ diseño} = 770.358 \text{ m}^3/\text{s}.}$$

3.1.2. Diseño hidráulico y estructural de enrocado

Para el diseño hidráulico y estructural se realizaron estudios previos tales como: estudio topográfico, estudio de cantera, ensayo de suelos, entre otros.

3.1.2.1. Estudio topográfico.

Mediante el método descriptivo, análisis visual por Google Earth, levantamiento topográfico, el río Coata se clasifica como un río meandrónico con una sección de canal natural irregular.

Se ejecutó el levantamiento topográfico con estación total en una franja del río, en sector Llucco, para la determinación de pendiente, ancho, profundidad promedio entre otras características físicas para el diseño.



Figura 13. Levantamiento topográfico del río Coata. (Tramo Llucco).

Fuente: fotografía propia.

Luego de los trabajos en campo se iniciaron los trabajos de descarga de datos a la laptop y procesamiento en los programas como: Exel, Auto Cad. En el que se procesaron las curvas primarias y secundarias, perfiles longitudinales y seccionamiento a cada 20 metros.

Se ejecutó en una longitud de cauce de 0+000 - 0 + 667 km., determinándose la pendiente en ese tramo de 0.42% y un radio de curva de 321.59m.

3.1.2.2. Estudio geotécnico

El estudio geotécnico para la propuesta de enrocado. Consistió principalmente en el análisis y ensayos de los materiales que la constituirán y los que corresponde al diseño.

La investigación geotécnica ha sido desarrollada con un criterio técnico, el cual permite determinar la clasificación de suelos a lo largo del tramo estudiado para la defensa ribereña en el río Coata. Determinar los parámetros geotécnicos del dique y cantera de roca (cerro Huata); parámetros y características que fueron tomados en cuenta en la propuesta y diseño de enrocado, que sustentan los ensayos en laboratorio de suelos (UNA- PUNO), excavaciones exploratorias.

3.1.2.3. Estudio de suelo

Se ubicó en ambas márgenes del río (margen derecho y margen izquierdo) del tramo crítico (sector Lluco) desde 0+000 hasta la progresiva 0+667 km.

- Excavaciones exploratorias

Se realizó las excavaciones exploratorias con un total de ocho calicatas (04 en orillas y 04 en talud existente); a cada 250 metros donde se alcanzaron profundidades promedio de 1.3 metros; en algunos casos y cuando las condiciones del perfil del suelo lo permitían se complementaron con la verificación y lectura de los perfiles naturales.

Durante la ejecución de las excavaciones se realizaron las siguientes actividades: muestreo representativo de

suelo para los ensayos en laboratorio, medición de espesores de estratos de las capas, verificación visual del tipo de suelos, medición del nivel freático en la orilla.



Figura 14. Excavación de calicatas y muestreo de suelos.
Fuente: fotografía propia.

- Toma de muestras

Se realizó la toma de muestras en la orilla del Río y en el talud existente, en ambas márgenes del río excavando una cantidad total de ocho calicatas (04 en taludes y 04 en orillas del río), de acuerdo a las especificaciones de las normas del MTC E 101.

- Ensayo de mecánica de suelos

Este ensayo de suelos se orientó para definir sus principales propiedades físico, mecánica e hidráulicas. Se

ejecutaron los siguientes ensayos siguiendo las normas del MTC y ASTM.

Ensayos realizados a diques existentes

Granulometría SUCS (ASTM-D-421)

Límite líquido y plástico (ASTM-D-4318)

Clasificación de suelos (ASTM-D-2484)

Ensayo Corte directo (ASTM-D-3080)

Resultados

La clasificación del suelo según S.U.C.S corresponde a un suelo arcilloso de baja plasticidad, con un L.L. de 39.7%, L.P de 24.5%, I.P de 15.2%, con un ángulo de fricción de 16.80°, y cohesión de 0.109 Kg/cm².

La clasificación del suelo según AASHTO corresponde a un suelo arcilloso.

3.1.2.4. Estudio de cantera (Rocas)

Para el estudio de cantera (rocas) que conformará la propuesta de la estructura de enrocado, se verifico visualmente y por Google Earth la cantera más cercana, potencial, accesible y calidad. El cual se ubicó en el distrito de Huata (cerro Huata), donde se realizó las evaluaciones y ensayos en laboratorio.



Figura 15. Ubicación de la cantera de roca.
Fuente: fotografía propia.

La cantera que se propone se ubica a corto kilómetro de la zona de estudio (aproximadamente a 7 km), existiendo una zona de acceso desde la zona de estudio por una trocha carrozable y por la carretera asfaltada que llega precisamente a la cantera de roca (cerro Huata).

Según las características de dimensiones del río Coata en el sector de estudio y los cálculos hidráulicos se requiere una cantidad aproximada de 24,766.71 m³ de roca para ambas márgenes (derecho e izquierdo). Considerando un 3% pérdidas del material durante su traslado, acomodado en talud y desperdicios.

La cantidad disponible viene a ser mucho mayor a la requerida por parte de las estructuras de dique propuesta. Teniendo una potencia aproximada de 60,000.00 m³ con un rendimiento en su explotación del 80%.

- Toma de muestras

Se realizó la toma de muestras en la cantera del cerro Huata, de acuerdo a las especificaciones de las normas del MTC E 101.

- Ensayo de mecánica de rocas

En este ensayo de rocas se orientaron para definir sus principales propiedades físico, mecánica e hidráulicas. Se ejecutaron los siguientes ensayos:

- Ensayo realizado a la cantera de roca

Abrasión en agregados menos a 1 1/2" (ASTM-C-131)

Gravedad específica (ASTM C-127)

Porcentaje de absorción (ASTM C-128)

Resultados

Del ensayo de rocas en laboratorio, el desgaste por abrasión es de 26.6% donde se verifica que es menor del 50% y se puede deducir que la roca es resistente al desgaste, la absorción de la roca es un promedio de 2.22% donde se puede deducir que la roca no es absorbente de agua y es adecuado para la defensa ribereña en propuesta.

3.1.2.5. Cálculo de capacidad admisible

Se calculó en función a los datos de los ensayos de suelo en.

Para el cálculo se avaluó la expresión de la teoría de **Terzagui**, dada por la siguiente expresión:

$$q_{ad} = \frac{1}{FS} \left(CN_c + \gamma D_f N_q + \frac{1}{2} B \gamma N_\gamma \right)$$

En el que:

q_{ad} = Capacidad admisible de terreno (kg/cm²)

γ = Densidad húmeda natural del terreno (kg/m³)

D_f = Profundidad de desplante de la estructura (m)

B = Ancho menor del cimiento (m)

C = Cohesión del terreno (kg/m³)

N_q = factor unidimensional de capacidad de carga dependiente del ancho y de la zona de empuje pasivo en función al ángulo de fricción interna, considerada la influencia del peso del suelo.

N_γ = factor adimensional de capacidad de carga debido a la sobre presión de la carga.

N_c = parámetro adimensional de la cohesión del terreno que viene a ser en función al terreno que viene a ser en función del ángulo de fricción interna.

Además para establecer los factores se utiliza la tabla 1.

El análisis se da en una franja de $1m = B$.

Puesto que es una estructura hidráulica y se tiene un suelo cohesivo de poca plasticidad se asume $F_s = 3$.

La toma de muestra para el ensayo se realizó a una profundidad de 1.3 m. Debajo de la cota cero asumida, por lo que se asume la profundidad de desplante el valor de $D_f = 1.3$ m.

Obtenido de los ensayos de suelo en laboratorio, el valor de ángulo de fricción es 16.8° , cohesión de 0.109 kg/cm^2 . Sustituyendo los datos asumidos en la ecuación de **terzagui** se tiene la capacidad admisible igual a: **1.02 kg/cm^2** . (VER ANEXO II).

3.1.2.6. Cálculo hidráulico de defensa enrocada lateral con el Software River.

Para iniciar con el cálculo, se ubica en el menú principal y seleccionamos Defensas enrocadas.



Figura 16. Menú del Software River
Fuente: Benavides (2013).

Datos iniciales ingresados:

- Nombre del proyecto.
- Caudal Máximo: **770.358 m³/seg.**
- Período de retorno: **50 años**
- Pendiente: **0.0042** del tramo

3.1.2.6.1. Cálculo de ancho firme del río (B), el programa considera las siguientes opciones:



Figura 17. Datos de caudal, periodo de retorno y pendiente del río.

3.1.2.6.2. Cálculo de ancho firme del río (B), el programa considera las siguientes opciones:

- a) Recomendación práctica, estos valores están en función al caudal que se muestra más abajo.



Figura 18. Cálculo de ancho estable por recomendación práctica.

Según la **recomendación practica** el ancho estable es de **87.24 m**.

- b) Método Petits



Figura 19. Cálculo de ancho estable método de Petits.

Según este método **Petits** el ancho estable es de **123.23m**

c) Técnica de Henderson y Simons



Figura 20. Cálculo de ancho estable método de Henderson y Simons.

Según ésta **Henderson y Simons** el ancho estable es de **116.57 m.**

d) Técnica de Altium y Blench



Figura 21. Cálculo de ancho estable método de Altium y Blench.

Según esta técnica de **Blench y Altium** el ancho estable es de **100.47m**.

e) Método de Manning y Stricker



Figura 22. Cálculo de ancho estable método de Manning y Stricker.

Según este método de **Manning y Stricker** el ancho estable es de **117.25 m**.

Finalmente se observa los valores de ancho estable, calculado por cinco métodos.

Según el levantamiento topográfico el ancho promedio del río es de **65m** por lo que se asume este valor para los cálculos.

3.1.2.6.3. Sección teórica del cauce

Figura 23. Cálculo de la sección teórica del cauce.

Los valores son:

$$A = 193.50 \text{ m}^2$$

$$Y = 2.74 \text{ m}$$

$$T = 75.98 \text{ m}$$

$$N^{\circ} \text{froude} = 0.768$$

$$V_m = 3.983 \text{ m/s}$$

$$Z = 2 \text{ m}$$

$$Bl = 0.96 \text{ m}$$

$$n = 0.03$$

$$\text{Perímetro} = 77.28 \text{ m}$$

3.1.2.6.4. Dimensiones del dique

CALCULOS HIDRAULICOS - DIQUES LATERALES

PROCESAR PAGINA IMPRIMIR

PROYECTO: PROPUESTA Y DISEÑO DE DEFENSA RIVEREÑA CON ENROCADO EN EL RÍO C...

Información Inicial			Dimensiones del Dique		Diseño Preliminar Sugerido	
Caudal (Q)	P. Retorno	Pendiente	Forma Dique	Tipo de Suelo	D.Recto	D.Curva
770.358	50	0.00420	<input type="radio"/> Recto <input checked="" type="radio"/> Curva	<input type="radio"/> No Cohesivo <input checked="" type="radio"/> Cohesivo		
Ancho Estable del Cauze (B)			Ws (Tn/m3)	Radio Curva	Ancho Corona (m)	
Recomendación Practica			1.79	321.59	Altura Dique (m)	
Metodo de Petits			Metodo de U. List Van Levediev		Altura Enrocado	
123.23					Altura Uña (m)	
Metodo de Simons y Henderson			Dique en Recta Dique en Curva		Ancho de Uña (m)	
116.57			Tirante de Socavacion (m)		Altura Total (m)	
Metodo de Blench y Altunin			0.00	5.85		
100.47			Profundidad de Socavacion (m)			
Metodo de Manning y Strickler			0.00	3.10		
117.25			Altura de Uña			
Seccion Teorica del Cauze			0.00		3.20	
Plantilla (B)			Altura de Dique		3.70	
Metodo de Manning			3.70		6.90	
65.00						
Tirante (Y)	Ancho (T)	Talud (Z)				
2.74	75.98	2.00				
Area (A)	Perimetro	B. Libre (Bl)				
193.50	77.28	0.96				
Velocidad	Nº Froude	Rugosidad				
3.983	0.768	0.0300				



Figura 24. Cálculo de las dimensiones del dique.

Los valores obtenidos son:

$$Y_{\text{socavacion}} = 5.85 \text{ m}$$

$$H_{\text{socavacion}} = 3.10 \text{ m}$$

$$H_{\text{uña}} = 3.20 \text{ m}$$

$$H_{\text{dique}} = 3.70 \text{ m}$$

$$H_{\text{total}} = 6.90 \text{ m}$$

3.1.2.6.5. Diseño



Figura 25. Diseño preliminar del dique lateral.

Donde se obtiene el diseño preliminar para un dique en curva y recta:

	Dique curva (m)	Dique recta (m)
Ancho de la corona	4.00	4.00
Altura del dique	3.70	3.70
Altura del enrocado	3.70	3.70
Altura de uña	3.20	0.00
Ancho de uña	4.80	0.00
Altura total	6.90	3.70

3.1.2.6.6. Dimensionamiento de enrocado

Para el dique recto



Figura 26. Cálculo de tamaño de roca método de Maynard e Isbash.

Se tiene como resultado. Que el tamaño de roca para este tipo de dique recto es de un diámetro promedio mínimo de 50 cm. De tipo cuadrado y/o rectangular.

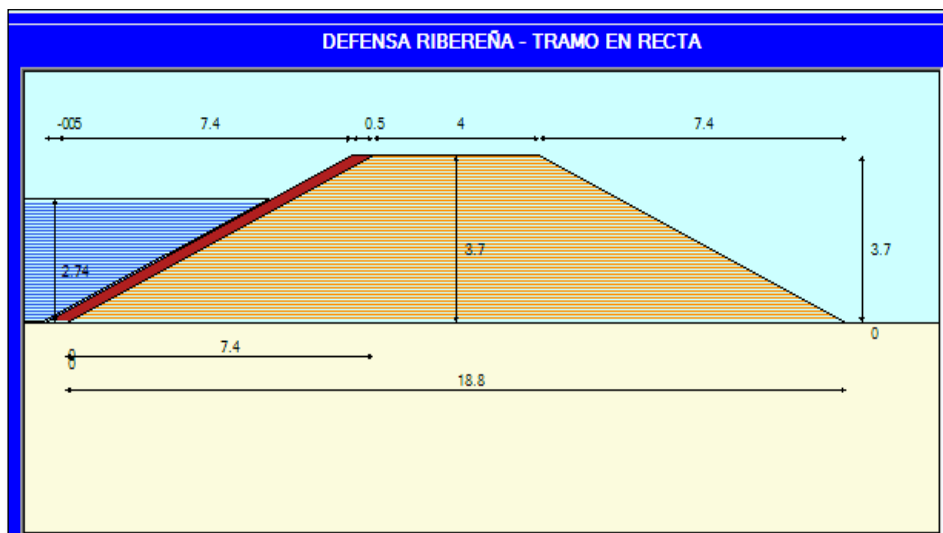


Figura 27. Representación gráfica del dique recto.
 Fuente: Software River.

Para el dique en curva



Figura 28. Cálculo de tamaño de roca método de Maynard e Isbash.

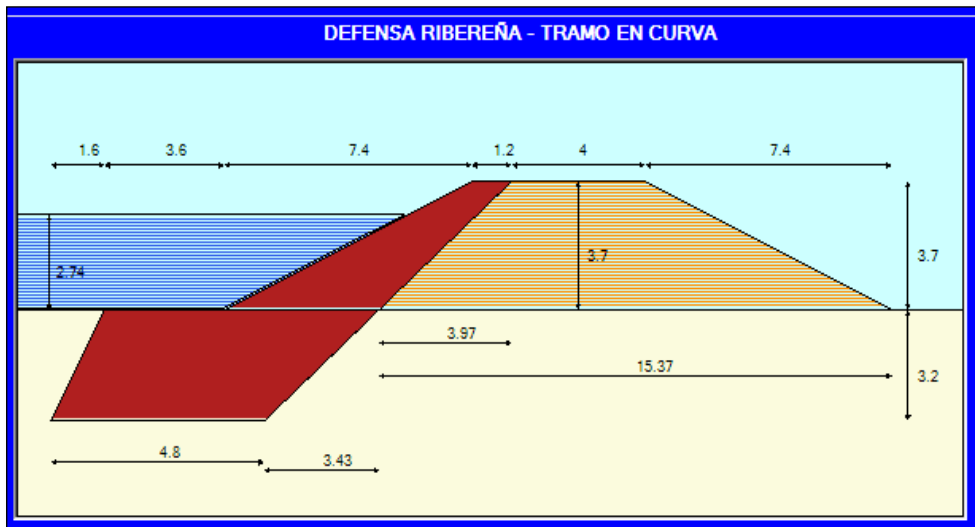
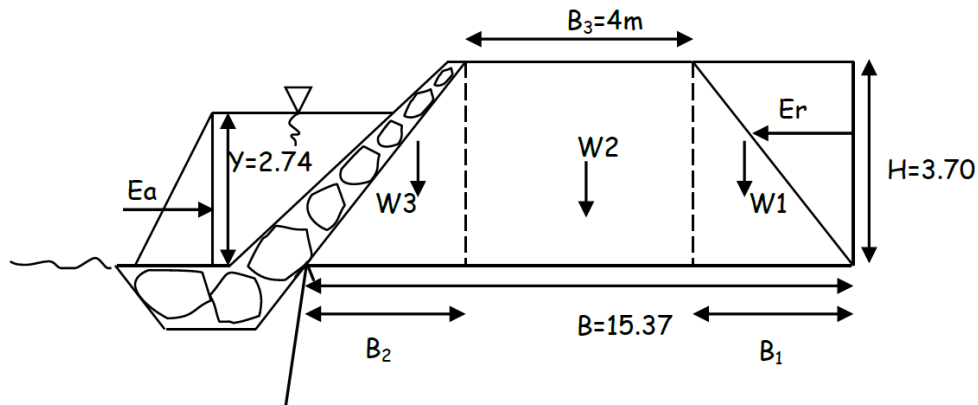


Figura 29. Representación gráfica del dique en curva.
Fuente: Software River.

3.1.2.7. Cálculo estructural



Punto de referencia para momentos

Figura 30. Grafica de dique en curva para diseño estructural.

Datos	(m)
B =	15.37
B ₁ =	7.40
B ₃ =	4.00
B ₂ =	3.97
H =	3.70
Y =	2.74

Peso específico del suelo húmedo en talud (γ):	1.79	Tn/m ³
Angulo de fricción-bloques de tierra húmeda (\emptyset):	45.00°	(arcilla y limo arenoso)
Peso específico del Agua (γ_w):	1.00	Tn/m ³
Peso específico de la Roca (γ_s):	2.00	Tn/m ³
Presión admisible del Terreno:	1.02	Kg/cm ²

a) Momento de volteo, considerando como una estructura rígida.

Tabla 16. Datos del cálculo de momento de volteo

FUERZA	EMPUJE (Tn)	BRAZO (m)	MOMENTO (Tn-m)
Ea	3.754	0.913	3.428
Er	13.690	2.467	33.769
E	17.444	Mv	37.197

Fuente: elaboración propia.

b) Verificación al volteo, considerando como una estructura rígida.

$$F_{sv} = M_r/M_v$$

$$F_{sv} = 12.063 > 2$$

c) Verificación al deslizamiento.

$$f = 0,9 \cdot \text{tg} \varnothing$$

$$f = 0.90$$

$$F_{sd} = w \cdot f / E$$

$$F_{sd} = 3.309 > 2$$

d) Verificación por asentamiento

W cae en el tramo central de la base, con $B/3 = 5.123 \text{ m}$

$$X = (M_r - M_v) / W$$

$$X = 6.415 > 5.123 \text{ m}$$

$$e = (B/2) - X$$

$$e = 1.270 \text{ m}$$

e) Verificación de presiones del terreno

$$q_{\text{máx.}} = w/B \cdot (1 + (6 \cdot e/B))$$

$$q_{\text{máx}} = 0.624 \text{ kg/cm}^2 < 1.02 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{\text{mín}} = w/B \cdot (1 - (6 \cdot e/B))$$

$$q_{\text{mín}} = 0.210 \text{ kg/cm}^2 < 1.02 \text{ kg/cm}^2$$

CAPITULO IV. CONTRASTE DE HIPÓTESIS

4.1. General

H.G.: “plantear una propuesta de diseño de enrocado en el río Coata para el tramo del sector Llucco, es una alternativa de solución para mitigar los desbordes de río Coata.”.

Prueba de Hipótesis

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

$$1.8680 \leq \mu \leq 2.0310$$

Calculo de Z_0 : $Z_0 = 1.86$

Sustituyendo: $\mu = 1.8$

Prueba de hipótesis referente a la media poblacional:

$$H_0 : \mu = 1.8$$

$$H_1 : \mu \neq 1.8$$

H_0 = No. Plantear una propuesta de diseño de enrocado en el río Coata para el sector Llucco, es una alternativa de solución para mitigar los desbordes de río Coata.

H_1 = Si. Plantear una propuesta de diseño de enrocado en el río Coata para el tramo del sector Llucco, es una alternativa de solución para mitigar los desbordes de río Coata.

Criterio de decisión

Niega H_0 si:

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

Cálculo de "t"

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad t = 14.36$$

Cálculo de t_c :

$$t_{1-\alpha}^{(gl)} \quad t_c = 1.54$$

Decisión:

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

$$14.36 > 1.54$$

Interpretación:

Se admite la H_1 : Si. "Plantear una propuesta de diseño de enrocado en el río Coata para el tramo del sector Llucco, es una alternativa de solución para mitigar los desbordes del río Coata". Se niega la H_0 ; porque el valor de la $t_c=1.54$, es menor que $t=14.36$.

4.2. Específica

H. Esp: “determinar las descargas máximas por ocho métodos estadísticos en el río Coata en el tramo del sector Llucco nos permitirá obtener un dato más aproximado del caudal de diseño”.

Prueba de Hipótesis

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

$$2.0316 \leq \mu \leq 2.1684$$

Calculo de Z_0 : $Z_0 = 1.86$

Sustituyendo: $\mu = 2$

Prueba de hipótesis referente a la media poblacional:

$$H_0 : \mu = 2$$

$$H_1 : \mu \neq 2$$

H_0 = No. Determinar las descargas máximas por ocho métodos estadísticos en el río Coata en el tramo del sector Llucco nos permitirá obtener un dato más aproximado del caudal de diseño.

H_1 = Si. Determinar las descargas máximas por ocho métodos estadísticos en el río Coata en el tramo del sector Llucco nos permitirá obtener un dato más aproximado del caudal de diseño.

Criterio de decisión

Se niega H_0 si:

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

Cálculo de “t”

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad t = 3.04$$

Cálculo de t_c :

$$t_{1-\alpha}^{(gl)} \quad t_c = 1.54$$

Decisión:

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

$$3.04 > 1.54$$

Interpretación:

Se admite la H_1 : Si. “Determinar las descargas máximas por ocho métodos estadísticos en el río Coata en el tramo del sector Llucco nos permitirá obtener un dato más aproximado del caudal de diseño”. Se niega la H_0 ; porque el valor de la $t_c=1.54$ es menor que $t=3.04$.

H. Esp: “realizar el diseño hidráulico y estructural del enrocado con el programa RIVER, en función a las descargas generadas y las características geotécnicas de la zona es una propuesta de diseño”.

Prueba de Hipótesis

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

$$2.0556 \leq \mu \leq 2.848$$

Calculo de Z_0 : $Z_0 = 1.86$

Sustituyendo: $\mu = 2$

Prueba de hipótesis referente a la media poblacional:

$$H_0 : \mu = 2$$

$$H_1 : \mu \neq 2$$

H_0 = No. Realizar el diseño hidráulico y estructural del enrocado con el programa RIVER, en función a las descargas generadas y las características geotécnicas de la zona es una propuesta de diseño.

H_1 = Si. Realizar el diseño hidráulico y estructural del enrocado con el programa RIVER, en función a las descargas generadas y las características geotécnicas de la zona es una propuesta de diseño.

Criterio de decisión

Se rechaza H_0 si:

$$t > -t_{1-\alpha}^{(g)}$$

Cálculo de “t”

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad t = 3.17$$

Cálculo de t_c :

$$t_{1-\alpha}^{(gl)} \quad t_c = 1.54$$

Decisión:

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

$$3.17 > 1.54$$

Interpretación:

Se admite la H_1 : Si. “Realizar el diseño hidráulico y estructural del enrocado con el programa RIVER, en función a las descargas generadas y las características geotécnicas de la zona es una propuesta de diseño”. Se niega la H_0 ; porque el valor de la $t_c=1.54$, es menor que $t=3.17$.

CAPITULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Esta investigación tuvo como propósito plantear una estructura de defensa ribereña de enrocado para mitigar el desborde del río Coata, en caso nuestro los desbordes de los ríos ocasionan pérdidas económicas cuantiosas como el que cuantifico y sustentó (Lobo. 2017 de la cuenca baja de río Coata, poblado de Almozanche); además de modelar y cuantificar las zonas inundables, en base a los Caudales máximos y momento de retorno utilizando el Software Hec Ras, donde determinó un caudal máximo de 758.3 m³/s, para un periodo de retorno de 50 años menor a la que se determinó en la presente investigación (770.358 m³/s – 50 años).

Las instituciones del estado en la mayoría de los casos solo suelen socorrer una vez suscitado cualquier efecto negativo a causa de los desbordes del río Coata. Motivo por el cual en esta tesis se plantea una propuesta de enrocado que generalmente es una estructuras económicas y eficiente para el control de la erosión de taludes. Este diseño está en función a las descargas máximas de las precipitaciones pluviales, características geotécnicas del suelo y roca.

La presente tesis tiene como aporte la propuesta técnica del diseño de enrocado, basado en cálculos de ingeniería, estudios básicos como la geotecnia, topografía, ensayos de suelo y roca en laboratorio. Que servirán como propuesta para la mitigación de los desbordes del río y generar presupuestos para la ejecución de la obra por las instituciones del estado o privados.

CONCLUSIONES

- Los valores de las avenidas máximas para tiempo de venida de 50 años determinado por ocho métodos estadísticos son: distribución Normal $Q_{Máx.} = 643.905m^3/s$; distribución Log-Normal de dos parámetros $Q_{Máx.} = 754.554m^3/s$; distribución Log-Normal de tres parámetros $Q_{Máx.} = 752.150m^3/s$; Gamma de dos parámetros $Q_{Máx.} = 700.236m^3/s$; distribución Gamma de tres parámetros o Pearson tipo tres $Q_{Máx.} = 753.165m^3/s$; Distribución Log-Pearson tipo III $Q_{Máx.} = 704.796m^3/s$; Distribución Gumbel $Q_{Máx.} = 731.119m^3/s$; Distribución Log-Gumbel $Q_{Máx.} = 1122.941m^3/s$. De los cuales se tomó la media aritmética que corresponde al valor de $Q_{Máx.} = 770.385m^3/s$ con el que se plantea el diseño de enrocado.
- Las dimensiones del dique en margen izquierdo como planteamiento del diseño con el software RIVER, en función al caudal de diseño son: ancho de corona de 4.00m.; base del dique de tierra de 15.37m.; altura de dique de 3.70m.; altura de enrocado de 3.70m.; altura de enrocado de uña de 3.20m.; ancho de base enrocado de uña de 4.80m.; altura total de 6.90m.; una inclinación de talud de $H=2.0$; $V=1.0$ de cara mojada y seca con un recubrimiento de enrocado de 1.2m.; borde libre de 0.96m.
- Las dimensiones del dique en el margen derecho como planteamiento del diseño con el software RIVER, en función al caudal de diseño, son: ancho de corona de 4.00m.; base del dique de tierra de 18.8m.; altura de dique de 3.70m.; altura de enrocado de 3.70m.; una inclinación de talud de $H=2.0$ $V=1.0$ de perfil húmeda y seca con un recubrimiento de enrocado de 0.5m.; borde libre de 0.96m.

RECOMENDACIONES

- A la Municipalidad Distrital de Coata desarrollar un plan de alerta temprana que permita estar preparados para una posible llegada de la máxima avenida calculada en la presente tesis, para reducir o controlar los efectos de los desbordes que pueda ocasionar la llegada de la máxima avenida.
- Se recomienda a las instituciones del estado la inmediata edificación de defensa ribereña con enrocado, para mitigar inundaciones que se viene presentando año tras año, afectando directamente a los pobladores de las zonas aledañas del distrito de Coata, así como a carreteras, viviendas, la agricultura y ganadería de la zonas aledañas, ocasionando grandes pérdidas económicas en las zonas que puedan ser afectadas.
- A SENAMHI implementar estaciones hidrométricas automáticas en el puente del río Coata, de modo que se tenga un mejor registro de los caudales que permita una mejor precisión de los modelos matemáticos aplicados para el modelo hidráulico.
- Se recomienda a los tesisistas que quieran plantear sus propuestas de defensas ribereñas, a tener muy en cuenta el presupuesto para los ensayos de suelos y rocas en laboratorio; además de programar el levantamiento topográfico en épocas de estiaje para una mejor precisión de la franja del río.

FUENTE INFORMATIVA

Alanya Barloza, E. (2017). *Sistema de Prevención y Control de Erosión en la Ribera del Río San Fernando Tramo Chayhuamayo – Shucusma, Huancayo – Junin* (tesis pregrado, Universidad Peruana los Andes, Huancayo, Junín, Perú).

Chow Ven Te. (1994). *Hidráulica de los canales abiertos*, (ediciones Mc. Graw Hill, Santafé Bogota-Colombia).

Flores Apaza, O. (2015). *Propuesta y Análisis de Diseño de Defensas Ribereñas en el Río Ilave Zona Rural C.P. Santa Rosa de Huayllata-Ilave* (tesis pregrado, Universidad Nacional del Altiplano Puno – Perú).

García Rico, E. (1997). *Manual de Diseño Hidráulico de Canales y Obras de Arte*. (Universidad Nacional de Ingeniería, Ediciones Concitec. Chiclayo – Perú).

Lobo Reyes, E. (2017). *Estudio Hidrológico e Hidráulico para la Identificación de la Vulnerabilidad a Desbordes de la Cuenca Baja del Río Coata – Puno*. (Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina – Lima – Perú).

Linsley, Ray (1968). *Hidrología para Ingenieros*. (Editorial Mc Graw – Hill. México).

Monsalve Saenz, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. (2º Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería – Alfaomega. Colombia).

Rocha Felices, A. (1998). *Introducción a la Hidráulica Fluvial*. (1º edición, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú).

Rocha Felices, A. (1990). *Transporte de Sedimentos Aplicado al Diseño de Estructuras Hidráulicas*. (Capítulo de Ingeniería Civil Consejo Departamental de Lima – Colegio de Ingenieros del Perú. Primera Edición, Lima – Perú).

Terán Adriazola, R. (1998). *Diseño y Construcción de Defensas Ribereñas*. (Ediciones N°1-1998, Escuela Superior de Administración de Aguas “Charles Sutton”, Arequipa – Perú).

Villón Bejar, Máximo (2002). *Hidrología Estadística*. (Instituto Tecnológica de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Agrícola, Segunda edición, Editorial Villón, Lima – Perú).

ANEXOS

ANEXOS I.

CALCULO HIDROLÓGICO.

ANEXOS II.

CALCULO DE CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO.

ANEXOS III.

CALCULO DE DISEÑO ESTRUCTURAL.

ANEXOS IV.

RESULTADOS DE ENSAYOS DE SUELO Y ROCA.

ANEXOS V.

PANEL FOTOGRÁFICO.

ANEXOS VI.

PLANOS

Fotografía 1. Se aprecia la erosión del talud por efecto de la socavación.



Fotografía 2. Se aprecia la defensa al desborde, con sacos llenados de tierra.



Fotografía 3. Se aprecia el levantamiento topográfico con estación total.



Fotografía 4. Se aprecia el colocado de prisma en el borde del agua para determinar la pendiente del flujo de agua.



Fotografía 5. Se aprecia la excavación de calicata en la orilla del río.



Fotografía 6. Se aprecia la toma de muestras de suelo para los ensayos de laboratorio.



Fotografía 7. Se aprecia la cantera de roca propuesta para la defensa ribereña, ubicado en el cerro Huata.



Fotografía 8. Se aprecia la toma de muestra de roca para los ensayos de laboratorio.





PROYECTO : PROPUESTA Y DISEÑO DE DEFENSA RIBEREÑA EN EL RIO COATA - PUNO
SOLICITADO : JOSE LUIS HUARICCALLO MAQUERA
UBICACIÓN : DISTRITO DE COATA, PROVINCIA DE PUNO, Dpto. DE PUNO
REFERENCIA : O/S N° 200 (Recibo N° 001-013130)
FECHA : 26 DE NOVIEMBRE DE 2018

**LÍMITES DE CONSISTENCIA
(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

UBICACIÓN : Orillas del Río Coata, SECTOR LLUCO
CALICATA : C-2
N.F.: 5.00 m.
PROFUNDIDAD: 1.30 m.

LÍMITE LÍQUIDO

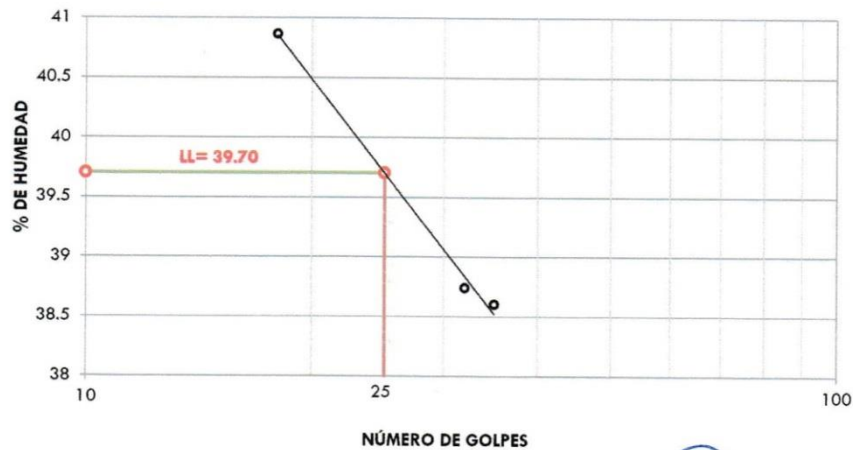
# Tara	S-011	B-3	S-05	-
Peso de la Tara gr.	13.15	13.02	13.68	-
T. + Suelo Húmedo gr.	32.36	33.65	33.95	-
T. + Suelo Seco gr.	27.01	27.89	28.07	-
Peso del Agua gr.	5.35	5.76	5.88	-
Suelo Seco gr.	13.86	14.87	14.39	-
% de Humedad	38.60	38.74	40.86	-
Nro. De Golpes	35	32	18	-

LÍMITE PLÁSTICO

# Tara	B-08	S-03	S-2	-
Peso de la Tara gr.	14.01	12.92	10.47	-
T. + Suelo Húmedo gr.	16.72	15.69	13.03	-
T. + Suelo Seco gr.	16.18	15.15	12.53	-
Peso del Agua gr.	0.54	0.54	0.50	-
Suelo Seco gr.	2.17	2.23	2.06	-
% de Humedad	24.9	24.2	24.3	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 39.70 %
LÍMITE PLÁSTICO L.P. = 24.5 %
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 15.2 %

GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO



OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el solicitante.
Datos del muestreo proporcionados por el solicitante

[Signature]
Bach. DEYWID WAGNER MARRON MACHACA
TECNICO DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES
EPIC - UNAP



FICA - PUNO
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

[Signature]
Ing. Mariano Roberto García Loayza
JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
MATERIALES



PROYECTO : PROPUESTA Y DISEÑO DE DEFENSA RIBERENA EN EL RIO COATA
SOLICITADO : PUNO
UBICACIÓN : JOSE LUIS HUARICCALLO MAQUERA
REFERENCIA : DISTRITO DE COATA, PROVINCIA DE PUNO, Dpto. DE PUNO
FECHA : O/S N° 200 (Recibo N° 001-013130)
: 26 DE NOVIEMBRE DE 2018

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO (ASTM C-127)

DATOS DE LA MUESTRA:

UBICACIÓN : CANTERA DE ROCAS CERRO HUATA
MUESTRA : M-1

	M-01	M-02	M-03
1 PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA GR.	961.37	1063.15	1136.41
2 PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO GR.	940.21	1040.38	1117.11
3 PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA SUMERGIDA GR.	579.82	639.87	686.67
4 VOLUMEN DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA GR.	381.55	423.28	449.74

6 PESO ESPECIFICO DE LOS SÓLIDOS: P.E.S. (1)/(4) GR/CM3	2.46	2.46	2.48
7 PORCENTAJE DE ABSORCION: %ABS((1)-(2))/(2)	2.25	2.19	1.73

PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS PROMEDIO (GR/CM3)	2.46
PORCENTAJE DE ABSORCION PROMEDIO: (%ABS)	2.22

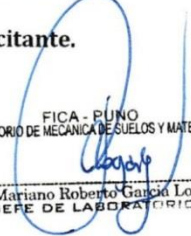
OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el solicitante.

Datos del muestreo proporcionados por el solicitante.


Edwin WAGNER MARROÑ MACHACA
 TECNICO DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES
 EPIC - UNAP



FICA - PUNO
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES


Ing. Mariano Roberto García Loayza
 JEFE DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



FICA

PROYECTO : PROPUESTA Y DISEÑO DE DEFENSA RIBERENA EN EL RIO COATA - PUNO
UBICACIÓN : DISTRITO DE COATA, PROVINCIA DE PUNO, Dpto. DE PUNO
 (Orillas del Rio Coata, SECTOR LLUCO)
SOLICITADO : JOSE LUIS HUARICCALLO MAQUERA
REFERENCIA : O/S N° 200 (Recibo N° 001-013130)
FECHA : 26 DE NOVIEMBRE DE 2018

CALICATA: C - 1
ESTRATO: M - 1
PROFUNDIDAD: 1.30m.
N.F.: 1.50 m.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

(NORMA ASTM - D3080-98)

Datos	ESPECIMEN 01				ESPECIMEN 02				ESPECIMEN 03			
	Inicial		Final		Inicial		Final		Inicial		Final	
Altura (h) (cm)	2.00				2.00				2.00			
Lado (cm)	6.00				6.00				6.00			
Peso Anillo (gr)	0.00				0.00				0.00			
Volumen (cm ³)	72.00				72.00				72.00			
Peso (Gr)	128.55				127.78				129.08			
PesoEspecifico de masa (gr/cm ³)	1.79				1.77				1.79			
Humedad (w) (%)	33.84%				36.67%				35.66%			
Densidad Seca(ys) gr/cm ³	1.33				1.30				1.32			
Esfuerzo Normal (kg/cm ²)	0.280				0.560				0.833			
	Deformac Tangencial (mm)	Dial de Carga	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Deformac Tangencial (mm)	Dial de Carga	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Deformac Tangencial (mm)	Dial de Carga	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)
	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000
	0.10	5.50	2.622	0.073	0.10	6.00	3.825	0.106	0.10	8.5	4.842	0.135
	0.20	7.00	3.232	0.090	0.20	8.50	4.842	0.135	0.20	12.0	6.266	0.174
	0.30	8.00	3.639	0.101	0.30	10.50	5.656	0.157	0.30	15.3	7.609	0.211
	0.40	9.00	4.046	0.112	0.40	12.20	6.347	0.176	0.40	17.5	8.504	0.236
	0.60	11.00	4.859	0.135	0.60	15.50	7.690	0.214	0.60	22.0	10.334	0.287
	0.80	13.00	5.673	0.158	0.80	17.50	8.504	0.236	0.80	26.0	11.962	0.332
	1.00	14.80	6.405	0.178	1.00	19.50	9.317	0.259	1.00	29.0	13.182	0.366
	1.25	16.50	7.097	0.197	1.25	22.00	10.334	0.287	1.25	32.0	14.403	0.400
	1.50	18.00	7.707	0.214	1.50	24.00	11.148	0.310	1.50	34.2	15.298	0.425
	1.75	19.40	8.277	0.230	1.75	26.00	11.962	0.332	1.75	36.0	16.030	0.445
	2.00	20.50	8.724	0.242	2.00	27.00	12.368	0.344	2.00	38.0	16.844	0.468
	2.25	21.40	9.090	0.253	2.25	28.50	12.979	0.361	2.25	39.0	17.250	0.479
	2.50	22.00	9.334	0.259	2.50	30.00	13.589	0.377	2.50	40.5	17.861	0.496
	2.75	22.60	9.578	0.266	2.75	31.00	13.996	0.389	2.75	41.5	18.267	0.507
	3.00	23.00	9.741	0.271	3.00	31.90	14.362	0.399	3.00	42.5	18.674	0.519
	3.50	23.00	9.741	0.271	3.50	33.20	14.891	0.414	3.50	44.0	19.285	0.536
	4.00	23.00	9.741	0.271	4.00	34.00	15.216	0.423	4.00	45.5	19.895	0.553
	4.50	22.00	9.334	0.259	4.50	34.00	15.216	0.423	4.50	46.5	20.302	0.564
	5.00	19.50	8.317	0.231	5.00	34.50	15.420	0.428	5.00	47.0	20.505	0.570
	5.50	18.50	7.910	0.220	5.50	35.00	15.623	0.434	5.50	47.5	20.708	0.575
	6.00	18.50	7.910	0.220	6.00	34.50	15.420	0.428	6.00	48.0	20.912	0.581
					6.50	33.50	15.013	0.417	6.50	48.0	20.912	0.581
					7.00	33.00	14.809	0.411	7.00	48.0	20.912	0.581
					7.50	33.00	14.809	0.411				

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el solicitante.

Datos del muestreo realizados por el solicitante.


DR. DEYVID WAGNER MARRON MACHACA
 TECNICO DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES
 EPIC - UNAP




FICA - PUNO
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES
 Ing. Mariano Roberto Garcia Loayza
 JEFE DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



FICA

PROYECTO : PROPUESTA Y DISEÑO DE DEFENSA RIBEREÑA EN EL RIO COATA - PUNO
UBICACIÓN : DISTRITO DE COATA, PROVINCIA DE PUNO, Dpto. DE PUNO
 (Orillas del Río Coata, SECTOR LLUCO)
SOLICITADO : JOSE LUIS HUARICCALLO MAQUERA
REFERENCIA : O/S N° 200 (Recibo N° 001-013130)
FECHA : 26 DE NOVIEMBRE DE 2018

CALICATA : C - 1
ESTRATO : M - 1
PROFUNDIDAD : 1,30m.
N.F. : 1,50 m.

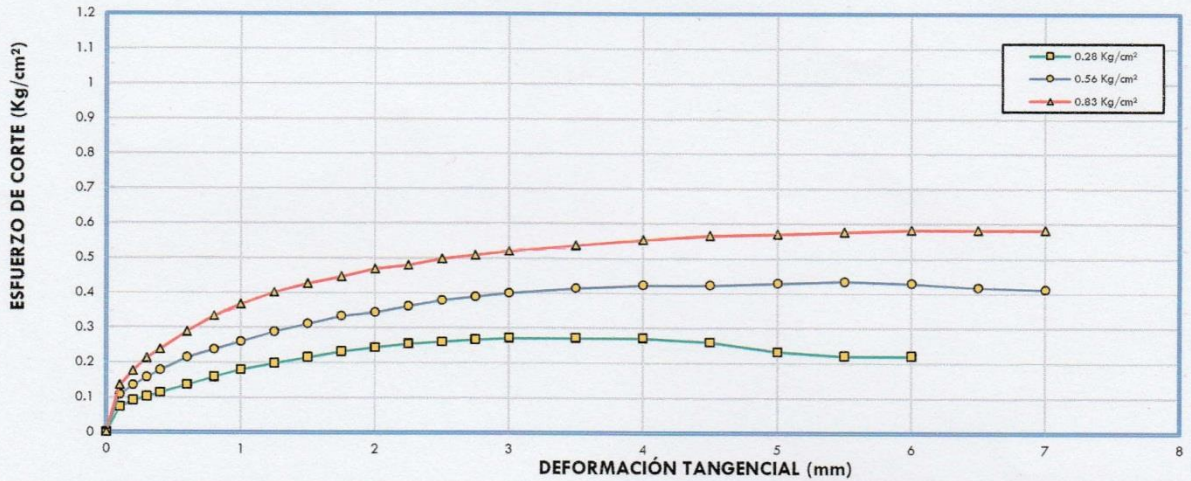
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

(NORMA ASTM - D3080-98)

Muestra Nro.	M - 1
Calicata Nro.	C - 1
Veloc. de Ensayo (mm/min)	0.5

Estado del Suelo	Natural	Inalterada	X
		Remoldeada	

ESFUERZO vs DEFORMACION



OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el solicitante.

Datos del muestreo realizados por el solicitante.

Bach. DEYVID WAGNER MARRON MACHACA
 TECNICO DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES
 EPIC - UNAP

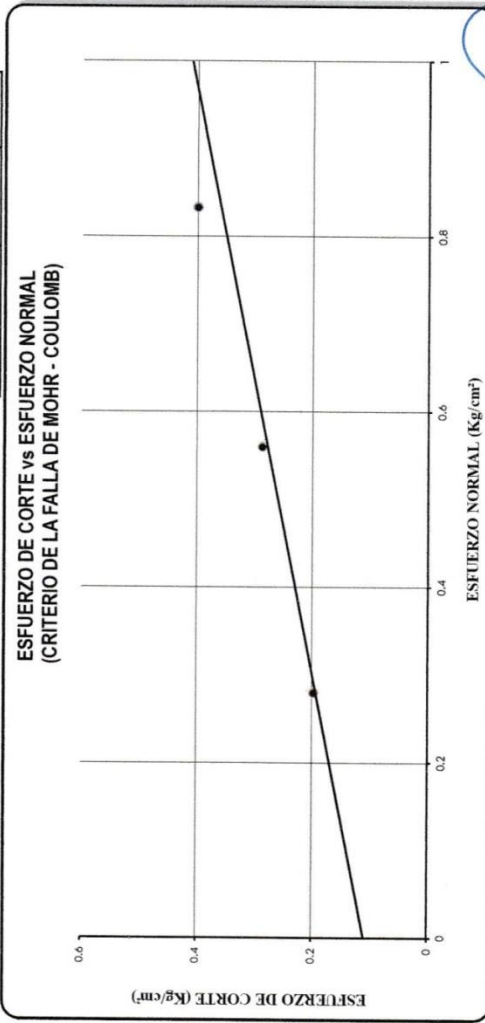


FICA PUNO
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES
 Ing. Mariano Roberto Garcia Loayza
 JEFE DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES		 FICA
PROYECTO : PROPUESTA Y DISEÑO DE DEFENSA RIBERENA EN EL RÍO COATA - PUNO UBICACIÓN : DISTRITO DE COATA, PROVINCIA DE PUNO, Dpto. DE PUNO (Orillas del Río Coata, SECTOR LLUCO) SOLICITADO : JOSE LUIS HUARICCALLO MAQUERA REFERENCIA : O/S N° 200 (Recibo N° 001-013130) FECHA : 26 DE NOVIEMBRE DE 2018	CALICATA : C - 1 ESTRATO : M - 1 PROFUNDIDAD : 1.30m. N.F. : 1.50 m.	
ENSAYO DE CORTE DIRECTO (NORMA ASTM - D3080-98)		

Muestra Nro.	M - 1
Calicata Nro.	C - 1
Veloc. de Ensayo (mm/min)	0.5

Estado del Suelo	Natural	Inalterada	X
		Remoldeada	
COHESION :	0.109 kg/cm ²		
ANGULO DE FRICCION:	16.80°		



OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el solicitante.
 Datos del muestreo realizados por el solicitante.


Betty WAGNER MARRON MACHACA
 TÉCNICO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES
 EPIC - UNAP




FICA - PUNO
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES
 Ing. Roberto Roberto Garcia Loayza
 JEFE DE LABORATORIO