

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**ESCUELA DE POST GRADO**



**PROGRAMA DE DOCTORADO**

**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**

**TESIS**

Evaluación de la socavación del cauce del río Crisnejas adyacente al muro de encausamiento, en el ámbito geográfico del centro poblado de Aguas Calientes – San Marcos – Cajamarca

Para optar el Grado Académico de:

**DOCTOR EN CIENCIAS**

Presentado por:

Doctorando: Luis Andrés León Chávez

Asesora: Dra. Rosa Llique Mondragón

Cajamarca – Perú

2016

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**ESCUELA DE POST GRADO**



**PROGRAMA DE DOCTORADO**

**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**

**TESIS**

Evaluación de la socavación del cauce del río Crisnejas adyacente al muro de encausamiento, en el ámbito geográfico del centro poblado de Aguas Calientes – San Marcos – Cajamarca

Para optar el Grado Académico de:

**DOCTOR EN CIENCIAS**

Presentado por:

Doctorando: Luis Andrés León Chávez

Dra. Rosa Llique Mondragón  
Asesora

Dr. Roberto Mosqueira Ramírez  
presidente comité científico evaluador

Dr. Edín Alva Plasencia  
Comité Científico Evaluador

Dr. Gilberto Cruzado Vásquez  
Comité Científico Evaluador

Cajamarca – Perú

2016

COPYRIGHT © 2016 BY  
LUÍS ANDRES LEON CHAVEZ  
Todos los derechos reservados

A mí amado Padre Celestial  
A la memoria de mi Madre Dolores  
A mis Hijos y Nietos  
Con profundo amor por su  
invalorable apoyo, en la  
culminación del presente trabajo

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional de Cajamarca, por el apoyo constante para la superación de sus docentes, ello ha permitido hacer realidad la meta trazada.

A la Doctora Rosa Llique Mondragón, por su acertada y eficaz orientación, en la culminación del presente trabajo. A los integrantes del Comité Científico: Dr. Roberto Mosqueira Ramírez, Dr. Edín Alva Plasencia, Dr. Gilberto Cruzado Vásquez, y Dr. Valentín Paredes Oliva, quienes oportunamente me apoyaron para desarrollar en forma satisfactoria esta tesis.

Mi profundo agradecimiento a aquellas personas e instituciones que de una u otra manera, han contribuido a la culminación de este trabajo de investigación, por lo que a través de estas líneas, deseo expresar mi profundo agradecimiento.

A mis familiares por haber sido pacientes y haber soportado las implicancias que significa hacer posible un trabajo de esta naturaleza.

## **EPÍGRAFE**

“La vida es una secuencia de problemas  
De los cuales todos nos enteramos; pero sólo  
Algunos pueden contribuir a solventarlos  
Y de esos pocos que pueden ayudar,  
Uno o tal vez ninguno lo hace”

	<b>Pág.</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1. Planteamiento del problema	01
1.2. Justificación e importancia	03
1.3. Delimitación de la investigación	05
1.4. Limitaciones	05
1.5. Objetivos: General y Específicos	05
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1. Antecedentes de la investigación	07
2.2. Marco epistemológico	08
2.3. Marco doctrinal de las teorías científicas	08
2.4. Marco conceptual	09
2.5. Definición de términos básicos	25
<b>CAPÍTULO III. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS</b>	
3.1. Hipótesis	26
3.2. Variables intervinientes	26
3.3. Operacionalización de variables	27
<b>CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO</b>	
4.1. Ubicación geográfica	28
4.2. Métodos de investigación	29
4.3. Diseño de la investigación	29
4.4. Población, muestra, unidad de análisis y unidad de observación	30
4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información	31
4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información	31
4.7. Equipos materiales e insumos	37
4.8. Matriz de consistencia metodológica	38
<b>CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
II	
5.1. Presentación de resultados	39

5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados	39
5.3. Contrastación de hipótesis	40
<b>CAPÍTULO VI. PROPUESTA</b>	
6.1. Formulación de la propuesta para la solución del problema	41
6.2. Costos de implementación de la propuesta	41
6.3. Beneficios que aporta la propuesta	41
<b>CONCLUSIONES</b>	42
<b>RECOMENDACIONES</b>	42
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	43
<b>ANEXOS</b>	45

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores críticos prueba smirnov kolmogorov	17
Tabla 2: Estadísticos $\mu_y$ , $\delta_y$	20
Tabla 3: Operacionalización de variables	27
Tabla 4: Caudales máximos	32
Tabla 5: Ordenamiento de caudales	33
Tabla 6: Caudales modelados	33
Tabla 7: Matriz de consistencia metodológica	38
Tabla 8: Socavaciones-modelos matemáticos	39
Tabla 9: Curva granulométrica	46
Tabla 10: Coeficientes K1 y K2-modelo Maza Álvarez	47
Tabla 11: Valores de K-modelo Neil	48
Tabla 12: Aforos río Crisnejas	50

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Croquis de ubicación	28
Figura 2: Vista general del muro fallado	90
Figura 3: Falla del muro en la parte central	90
Figura 4: Toma de muestras de sólidos del cauce del río Crisnejas	91

Figura 5: Socavación en la cimentación, parte inicial del muro	91
Figura 6: Socavación en la cimentación de la zona media del muro	92
Figura 7: Canal de pendiente variable del laboratorio, para el modelaje	92
Figura 8: Calibración del caudal modelado, para el ensayo hidráulico	93
Figura 9: Conformación del cauce, modelado para el ensayo	93
Figura 10: Colocación de soporte para desarenación	94
Figura 11: Característica del flujo sobre el cauce modelado	94
Figura 12: Zona socavada, por acción del flujo	95
Figura 13: Socavación en el proceso de ensayo	95
Figura 14: Arrastre del cauce en el modelo	96
Figura 15: Socavación final en el modelo	96

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación, evaluó la profundidad de socavación del cauce de río Crisnejas debido a que el muro de defensa y encausamiento del centro poblado de Aguas Calientes – San Marcos – Cajamarca, ubicado entre las coordenadas UTM 17M 818796 y 9174079, falló al desestabilizarse su cimentación. En ese sentido, se consideró máximas avenidas, que es donde el fenómeno de socavación es mayor. Para el efecto se usó modelos matemáticos y se comparó con un modelo hidráulico en laboratorio, precisamente se tomó como caudal, el máximo generado para un periodo de retorno de 50 años, en base a los caudales medidos por SENAMHI. Para el modelo hidráulico en laboratorio, el caudal se modeló mediante análisis dimensional y semejanza dinámica. Las muestras de suelos para el análisis granulométrico, fueron tomadas en el cauce del río, con lo cual se confeccionó la curva granulométrica para ser usada en los modelos matemáticos. Los valores que proporcionaron los modelos matemáticos para la profundidad de socavación variaron entre 1.80 m. a 2.54 m, y el modelo hidráulico en laboratorio proporcionó una profundidad de socavación de 2.80 m. Se optó por un valor en base al comportamiento del río, el cual en las avenidas conforma meandros, lo que ocasiona que la mayor cantidad de flujo suceda inicialmente adyacente al muro de encausamiento y por lo tanto la socavación es la mayor en esta zona. En ese sentido, se concluye tomar 2.80 m. como profundidad de socavación y por ende para diseños de cimentación así como para estudios de mecánica de suelos.

## **ABSTRACT**

This research looks to solve the problem of undermining causing the river Crisnejas mainly in maximum flood on the wall defense and guide in the town center of Aguas Calientes, Province of San Marcos, Cajamarca department. For the effect has been considered to mathematical models and compare with a hydraulic model in the laboratory, taking precisely as the maximum flow generated for a return period of 50 years based on the flows measured by SENAMHI. For the hydraulic model in the laboratory, the flow is modeled by dimensional analysis and dynamic similarity. Soil samples for particle size analyzes have been taken on the cause of the river, which has made the grading curve for use in mathematical models. The values of the mathematical models for undermining depth has vary from 1.80 to 2.54 meters and the hydraulic model in the laboratory of a depth underminng 2.80 meters .To choose a value has been assessed the behavior of the river in which the avenues meander shape which causes the greatest amount of flow occurs initially adjacent to the wall of prosecution and therefore may be greater scour in this area. In that sense it has been proposed to take 2.80 meters and a depth for foundation design.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

## EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema.

#### 1.1.1. Contextualización

El presente trabajo de investigación, estudia las socavaciones que se presentan en el río Crisnejas entre las coordenadas UTM 17M 818796 y 9174079, a la altura del centro poblado de Aguas Calientes, donde existe el precedente del colapso de un muro de contención, debido a la socavación del río, con las consecuencias de inundación, pérdida de animales, de viviendas, invasión de insectos, aparición de enfermedades, etc. Actualmente existe otro muro de contención de concreto, el cual también ha colapsado en la parte inicial aún sin consecuencias graves; sin embargo en la parte central y final puede observarse que por los efectos de socavación ha quedado al descubierto la cimentación, con el peligro de eminente falla. Frente a esta situación de riesgo es que se pretende dar una solución en cuanto a la socavación, de tal manera que al concluir este trabajo se debe presentar una alternativa para la profundidad de cimentación que deben tener los muros de encauzamiento y contención que puedan construirse, tomándose como base la profundidad de socavación que se va a determinar mediante el empleo de modelos matemáticos comparándolo con un modelo hidráulico en laboratorio, aun cuando la socavación general es un proceso físico complejo, cuyas bases teóricas no se encuentran bien definidas y no es posible estimar con confianza los cambios en el lecho tras el tránsito de un flujo. Debido a esta situación delicada en que se encuentra el centro poblado de Aguas Calientes, es que se ha tomado como tema de investigación, la socavación del cauce del río

Crisnejas, con la finalidad de dar una solución al problema presentado.  
(Asencio 2013)

#### 1.1.2. Descripción del problema

El Centro Poblado de Aguas Calientes, políticamente pertenece a la Provincia de San Marcos, Departamento de Cajamarca, Región Cajamarca, posee un potencial turístico en vías de desarrollo, siendo frecuentado por turistas, nacionales y en pequeño número del extranjero, tiene gran influencia del comercio que se practica en la localidad contigua de La Grama. Se encuentra ubicado en la margen izquierda aguas abajo del río Crisnejas, por lo que está expuesto a un riesgo cíclico de inundación, que se presenta en las épocas de máxima avenida, donde el poder erosivo que presenta el río es mayor, de tal manera que deteriora constantemente la cimentación del muro de contención y defensa en la zona de la cimentación, lo que ha ocasionado el volteo de un primer muro y puede ocasionar el volteo del muro actual, con severos impactos socio ambientales, como ha ocurrido en épocas anteriores.

El río Crisnejas es de tercer orden, tiene un caudal permanente, donde las avenidas ocasionan una erosión muy severa tanto en las márgenes como en el centro. Está formado por los ríos tributarios: Cajamarquino y Huamachuquino. En la zona del centro poblado de Aguas Calientes, el río Crisnejas, en épocas de estiaje presenta meandros en la parte central del cauce, por lo que el flujo ocurre por los extremos de la sección de paso, es así que en las crecidas, la mayor velocidad de flujo se presenta en el área de contacto con el muro de encauzamiento, situación que incrementa la erosión.  
(Rocha 2007)

### 1.1.3. Formulación del problema.

¿Cuál es la profundidad de socavación del cauce del río Crisnejas junto al muro de encausamiento, en el ámbito geográfico del centro poblado de Aguas Calientes – San Marcos – Cajamarca?

¿Cuál es el modelo más conservador: el modelamiento matemático o el modelo hidráulico en laboratorio para la profundidad de socavación del cauce del río Crisnejas junto al muro de encauzamiento, en el ámbito geográfico del centro poblado de Aguas Calientes – San Marcos – Cajamarca?

## **1.2. Justificación e importancia de la investigación.**

Existe el precedente de inundación del centro poblado de Aguas Calientes, debido a que el muro de encauzamiento y protección que existía colapsó, trayendo como consecuencia, impactos socio ambientales. Posteriormente se ha construido otro muro el cual ha colapsado en la parte inicial, no así en la parte medular y final donde el terreno de cimentación ha sido socavado de tal manera que la cimentación ha quedado descubierta con el eminente volteo del muro y las consecuencias del deterioro medio ambiental y posibles pérdidas de vidas humanas. Frente a esta situación de riesgo, es que se considera muy importante determinar la capacidad erosiva del río en esta zona de riesgo.

### 1.2.1. Justificación científica

La investigación se enfocó en estudiar la socavación, utilizando varias teorías, de las cuales se ha validado la teoría de Larnes, con la cual se determinó la profundidad de socavación del cauce del río Crisnejas junto a la cimentación del muro de contención. Así mismo se sometió a prueba las teorías, comparándolas con el modelo hidráulico de laboratorio para optar por una profundidad representativa de la socavación.

### 1.2.2. Justificación técnica práctica

La socavación se ha determinado para la máxima avenida del río, debido a que la mayor capacidad erosiva se produce cuando el caudal es mayor, esto ocasiona mayor alteración de los factores geomorfológicos, transporte y tipo de material que conforma el lecho; para poder evaluar se ha hecho uso de modelamiento matemático y modelo hidráulico de comparación en laboratorio, con lo que se obtuvo la capacidad de erosión en profundidad, de tal modo que se puede tener un grado confiable de seguridad para la población involucrada.

Las aguas termales del centro poblado de aguas Calientes, provincia de San Marcos, son un atractivo turístico, actividad que implica una fuente de ingresos para esa localidad. Por otra parte existe el precedente de inundaciones en la localidad de Aguas Calientes, debido a las intensas precipitaciones que ocurren en la zona. Estas razones han motivado también el desarrollo de la presente investigación.

### 1.2.3. Justificación Institucional y personal.

Se debe mencionar que este tipo de trabajos de investigación competen a la ingeniería hidráulica por lo que la Escuela de Post Grado de la Universidad Nacional de Cajamarca, tiene responsabilidad en la contribución a solucionar problemas que se presentan en las poblaciones como es el presente caso. Por otra parte el suscrito, ha realizado trabajos similares en la bocatoma Tres Molinos, presentado como Tesis de Maestría, así mismo es de competencia por ser docente de la facultad de ingeniería, y las experiencias que se obtengan tendrán aplicación en la enseñanza e investigaciones similares en la Escuela de Post Grado.

### **1.3. Delimitación de la investigación.**

El presente trabajo de investigación se ubica en el río Crisnejas, entre las coordenadas UTM 17 M 818796 y 9174079, en el centro poblado de Aguas Calientes, donde el muro de contención y encauzamiento ha colapsado por la acción erosiva de los flujos estacionales.

### **1.4. Limitaciones**

Los ríos son sistemas altamente dinámicos por lo que las variables geométricas de un cauce con lecho móvil requieren de buena información para poder aplicar los modelos, puesto que después de cada avenida, el material que queda en el cauce del río es cada vez diferente, situación que altera los resultados de la modelación.

### **1.5. Objetivos**

#### 1.5.1. Objetivo general

Evaluar la profundidad de socavación del cauce del río Crisnejas en las coordenadas UTM 17 M 818796 y 9174079 junto al muro de encausamiento, en el ámbito geográfico del centro poblado de Aguas Calientes – San Marcos – Cajamarca.

#### 1.5.2. Objetivos Específicos:

- Determinar el caudal en máxima avenida del río Crisnejas para el ámbito geográfico del centro poblado de Aguas Calientes-San Marcos - Cajamarca.

- Cuantificar la socavación del cauce del río Crisnejas junto al muro de encausamiento, usando modelos matemáticos, para el ámbito geográfico del centro poblado de Aguas Calientes-San Marcos - Cajamarca.
- Obtener la socavación del cauce del río Crisnejas junto al muro de encausamiento, usando modelo hidráulico en laboratorio, para el ámbito geográfico del centro poblado de Aguas Calientes-San Marcos - Cajamarca.
- Comparar los valores de la socavación obtenidos mediante el uso de modelos matemáticos, con los valores encontrados haciendo uso del modelo hidráulico de laboratorio

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

- En lo que concierne a cálculo de caudales máximos, por efecto de máximas precipitaciones, se tiene el trabajo en la cuenca del río Tuxpan, Veracruz, México, cuyo objetivo fue el de evaluar las áreas susceptibles de inundación en la cuenca. Para el cálculo de gastos máximos se aplicó el método de Ven Te Chow en cada unidad hidrológica o micro cuenca. Los resultados indican desbordamientos, por falla de muros de encauzamiento debido a la socavación del lecho por efecto de caudales excesivos, afectando una superficie de inundación de 522 kilómetros cuadrados. (Ellis 2009)
- El análisis de la vulnerabilidad y el riesgo de inundación en la cuenca baja del río Gaira, en el Distrito de Santa Marta, Bogotá, Colombia, hace ver, que las recientes construcciones de muros de encauzamiento en zonas inadecuadas, es el factor principal que incide en la alta vulnerabilidad de la cuenca baja. (Orangel 2011)
- Después de hacer un estudio detallado de la cuenca del río Casacara en Colombia, y de los registros de lluvia, se logra determinar el caudal máximo del río, que es de 658 m<sup>3</sup>/S, la socavación estimada es de 4 metros. (Cristancho 2003)
- En el Perú se inicia un trabajo para encauzar el río Rímac, en 1994, debido al desborde de sus aguas, fenómeno que causó un gran desastre en la jurisdicción del Callao, en la zona de Gambetta Baja y otros barrios. Las zonas donde se

produce la inundación se debe al debilitamiento de las defensas por la socavación del cauce del río, en otras partes sucede por la sedimentación del cauce en aproximadamente 4 m. de altura. Esta situación conllevó a la construcción del muro de encauzamiento y defensa existente; sin embargo no se ha efectivizado

una investigación referente a las características del río en cuanto respecta a máximas avenidas y erosión, variables que determinan el tipo de cimentación que deben tener las estructuras de defensa, por tal razón se encuentra en peligro eminente de colapso. (Ferradas 1994)

## **2.2. Marco epistemológico**

Según Lakatos en la ciencia hay confrontación entre teorías y experimento en un contexto racional y el resultado es la confirmación de una de las teorías y no su falsación, lo que constituye un esquema para la evaluación del progreso del conocimiento científico (Alcántara, 2011). En el trabajo de investigación se consideró esta postura epistemológica, no se generó teorías de socavación, sino se observaron las teorías existentes en conjunto, sometiéndolas a prueba con el modelo hidráulico en laboratorio, llegándose a la confirmación de la teoría de Larnes.

## **2.3. Marco doctrinal.**

En el campo de la ciencia donde se ubica el trabajo materia de la presente investigación existen trabajos tales como: “Socavación en Pilas de Puentes” (Farías, H. 2012), donde se exponen teorías de socavación. La tesis “Mitigación de la

Socavación del Río Negro, Bogotá Colombia” (Alvares Moreno, C. 2007), igualmente se exponen teorías de socavación. Por otra parte en la tesis “Producción de Sedimentos en la Cuenca de Río Apulco” (Ramírez, J. 2009) se dan a conocer teorías sobre agradación en cauces de ríos. Finalmente en la tesis “Estudio de las Fallas en Estructuras de Captación de Alta Montaña” (Leon, L. 2003) se ponen de conocimiento teorías de sedimentación.

## **2.4. Marco Conceptual**

### **2.4.1. Muros de encausamiento**

Los muros de encausamiento son estructuras que sirven para dar estabilidad a los suelos donde el terreno tiene mayor elevación, así como también para encausar el flujo de un río o canalización. Es así que por una de las caras del muro actúa la presión de empuje del suelo, y por la otra la presión hidrostática del agua que discurre. Los muros de encausamiento por gravedad dependen completamente de su propio peso para su estabilidad, y por el lado del agua deben tener la profundidad de cimentación adecuada para soportar la acción erosiva del río, más aun en máximas avenidas. (Villón 2013)

#### **2.4.1.1. Partes de un muro**

Un muro se compone de dos partes principales:

**La Cimentación:** Es la parte enterrada, que recibe el empuje de tierras por ambos lados y que por consiguiente dichas fuerzas se anulan. Está en contacto con el terreno resistente, para prevenir hundimientos y socavaciones.

**Elevación:** Es el componente que sobresale del terreno soportando por un lado el empuje de tierras, y por y por el lado opuesto la presión del flujo (Juárez 2012)

### **2.4.2. Hidrología**

Hidrología es una ciencia empírica que forma parte de la climatología, trata del origen, distribución, propiedades y comportamiento del agua en la naturaleza. Está ligada al estudio de fenómenos naturales, de manera que los métodos que emplea no son rígidos, quedando algunas decisiones a criterio del ingeniero. Desde el punto de vista ingenieril, los aspectos hidrológicos que se deben destacar en un estudio de esta índole, son las precipitaciones y el escurrimiento de las aguas por encima y por debajo de la superficie terrestre. Es utilizada en ingeniería principalmente en relación con el diseño y ejecución de estructuras hidráulicas. (Chow 2004)

#### 2.4.3.1. Estudio hidrológico.

Cuenca Hidrográfica o Hidrológica. Es una porción de terreno donde todas las aguas de escorrentía superficial confluyen en un solo punto del curso de agua llamado emisor. Cada sistema de cuencas tiene características propias, con variables de entrada y salida que dependen de las leyes físicas, naturaleza del sistema hidrológico y de las variables de estado correspondientes. (Reyes 1992)

2.4.3.2. Sistema hidrológico: Es el conjunto de procesos (físicos, químicos y biológicos) que actuando sobre una o más variables de entrada lo transforman o convierten en una o más variables de salida. (Rodríguez 2010)

2.4.3.3. El proceso de modelamiento consta básicamente de dos fases o etapas:

- a) La fase informativa: Corresponde a la recopilación de datos referentes a entradas y salidas del sistema, variables de estado y parámetros hidrodinámicos relacionados con la naturaleza del sistema, así como datos sobre relieve o topografía superficial y definición de límites.
- b) La fase de modelamiento matemático: Comprende, la verificación, ajuste o calibración del modelo mediante la comparación de los datos observados con

los simulados. Se consigue mediante las pruebas de bondad de ajuste, optimización mediante técnicas de programación lineal o dinámica.

- c) Modelo hidrológico: Es la representación simplificada de un sistema hidrológico, expresa las relaciones que hay entre variables hidrológicas y parámetros geomorfológicos de una cuenca hidrológica. Los parámetros son constantes y las variables son de dos tipos: Variables controlables (de decisión) y variables incontrolables (determinísticas y estocásticas). Las determinísticas, tienen que ver con las características del sistema hidrológico. Las estocásticas, son variables dependientes del sistema hidrológico, están relacionados exclusivamente con las leyes físicas como son: temperatura, viento, presión atmosférica.

Los tipos de modelos hidrológicos son:

- Modelo empírico: Toma en cuenta variables de entrada (precipitación) y variables de salida (escorrentía) y no tiene en cuenta la naturaleza del sistema ni las leyes físicas del mismo.
- Modelo conceptual: Toma en cuenta las leyes físicas y naturaleza del sistema, tal como la cuenca hidrológica y cada una de sus partes constitutivas, que se representan adecuadamente mediante modelos que van desde los más simples hasta los más sofisticados. La bondad del modelo depende de la cantidad, pero sobre todo de la calidad de la información, y del análisis de consistencia y síntesis de la información: (Chow 2004)

2.4.3.4. Técnicas de cálculo indirecto de descargas máximas: Para el aprovechamiento del recurso hídrico de una cuenca es necesario conocer, en un punto dado, el caudal disponible a partir de la o las lluvias que la originan.

El problema aparentemente simple en su presentación es de una solución en mucho de los casos compleja, y para ello se han ideado una serie de métodos que van desde los más simples a los más complejos. La aplicación exitosa de los diferentes métodos dependerá del tamaño de la cuenca, así como de sus características fisiográficas, tipos, usos y cobertura del suelo, así como del grado de humedad existente. Entre otros se tiene los siguientes métodos: El método racional o determinístico, el método del hidrograma unitario, los métodos estadísticos, método del hidrograma sintético, y el método del análisis regional.

2.4.3.5. Síntesis de la Información: Muchas veces la información hidrometeorológica es cuantiosa y compleja, esto obliga al investigador a realizar un análisis estadístico que le permita sintetizar y caracterizar la muestra hidrológica en pocos valores, más manipulables, y más fácilmente comparables. Estos pocos valores permiten al investigador inferir conclusiones sobre las características de la población hidrológica. En vista que en Hidrología se trabaja siempre con variables aleatorias o estocásticas, los diseños hidráulicos introducen cierta dosis de incertidumbre, por ello es necesario que el proyectista haga “estimaciones prudentes” que le permitan enfrentar tal incertidumbre de manera realista y económica, en tal sentido la primera etapa del estudio hidrológico implica la investigación de la información hidrológica disponible que permita apreciar su naturaleza y grado de incertidumbre. Una muestra hidrológica puede sintetizarse mediante descriptores muestrales, gráficos y numéricos. Descriptores Numéricos: Estos descriptores, conocidos a veces simplemente como estadísticos, permiten inferir características de una población hidrológica partiendo de una muestra representativa. Estos descriptores son:

- **Descriptores de tendencia central:** Media muestral ( $\bar{X}$ ), usada frecuentemente en modelos de simulación determinísticos, es representativo cuando las variaciones a su alrededor son pequeñas o despreciables, de lo contrario por si sola tiene muy poca significación práctica y no se usa en los diversos diseños de Ingeniería Hidráulica. Se define como el promedio de los datos observados, matemáticamente se expresa:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (\text{Ec. 2.1})$$

- **Descriptores de dispersión:** Varianza Muestral ( $S^2$ ), es el promedio de las desviaciones medias cuadráticas. Este estadístico tiene mucha significación práctica en vista de que su interpretación física es similar al de un momento de inercia o de segundo orden, matemáticamente se expresa:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Desviación estandar muestral ( $S$ ), se define como la raíz cuadrada positiva de la varianza, se expresa:

$$S = + (S^2)^{1/2} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Tanto la varianza como la desviación estándar son dependientes de la geometría de la distribución, más no así del tamaño de la muestra, pues la adición de una constante a todos los valores observados alteraría a la media, más no así a los descriptores de dispersión. En vista de que la desviación estándar tiene las mismas dimensiones y unidades que los datos observados, después de la media,

este estadístico proporciona mayor información al investigador que cualquier otro número que se pueda deducir de la muestra hidrológica. (Chow 2004)

2.4.3.6. Gastos de diseño para diversas obras de ingeniería: El análisis de máximos eventos hidrológicos tiene singular importancia, puesto que permite predecir el comportamiento de descargas límite para el dimensionamiento de estructuras hidráulicas muy diversas, con fines de control, conducción, almacenamiento y otros relacionados directa o indirectamente con el control y/o manejo de avenidas. La predicción de descargas pico, además de ser útil para fijar los gastos de diseño de un gran número de estructuras hidráulicas, tiene especial importancia en la atenuación de daños por inundaciones. El investigador que tiene que ver con la toma de decisiones en recursos de agua, a menudo están relacionados con el problema que representa la estimación de variables aleatorias extremo con pequeñas probabilidades de ocurrencia, resulta fácil diseñar una estructura con capacidad para cierto gasto, pero es bastante difícil estimar el gasto de diseño, teniendo en cuenta que el sobre - dimensionamiento o sub - dimensionamiento siempre repercute en la economía del Proyecto. La elección del gasto de diseño tiene relación con el tiempo o período de retorno el que a su vez depende de la vida útil de la estructura y del riesgo de falla considerado. Para la estimación de los gastos de diseño, se usa el modelo probabilístico que mejor describa la muestra hidrológica, para luego extrapolar para el nivel de probabilidad deseado de acuerdo con el período de retorno y vida útil de la estructura. Toda proyecto de ingeniería hidráulica debe proyectarse para un cierto período de vida útil de la estructura y cuyo diseño debe basarse en probabilidades anuales. El período de vida útil se estima

teniendo en cuenta básicamente consideraciones de orden económico, técnico y social; sin embargo, tal durabilidad no es posible fijarla con toda certeza, puesto que la estructura está expuesta a riesgos permanentes de fallas por ocurrencias de eventos mayores que los previstos.

Riesgo de falla (  $J$  ), representa el peligro a la probabilidad de que el gasto considerado para el diseño sea superado por otro evento de magnitudes mayores. Si llamamos  $P$  a la probabilidad acumulada de que no ocurra tal evento, es decir, que la descarga considerada no sea igualada o superada por otra, entonces la probabilidad de que si ocurra dicho evento en  $N$  años consecutivos de vida, representa el riesgo de falla  $J$ , y está dado por:

$$J = 1 - P^N \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Tiempo o periodo de retorno (  $Tr$  ), es el tiempo transcurrido para que un evento de magnitud dada se repita en promedio. Se expresa en función de la probabilidad  $P$  de no ocurrencia, la probabilidad de ocurrencia está dada por  $1 - P$ , y el tiempo de retorno ( $Tr$ ) se expresa mediante:

$$Tr = \frac{1}{1 - P} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Eliminando el parámetro  $P$  Se tiene:

$$Tr = \frac{1}{1 - (1 - J)^{1/N}} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Esta ecuación se utiliza para estimar el tiempo de retorno ( $Tr$ ) para diversos riesgos de falla y vida útil ( $N$ ) de la estructura. Vida útil ( $N$ ), es un concepto económico en relación con las depreciaciones y costos de las estructuras. La vida física de las estructuras puede ser mayor y en algunos casos es conveniente que sea la máxima posible para no provocar conflictos de aprovechamiento hídrico. (Chow 2004)

Modelamiento matemático de valores aleatorios extremos. Varios son los modelos probabilísticos que se usan para estimar las máximas descargas, entre los cuales se pueden mencionar: Log Normal de Tres Parámetros, Log Pearson Tipo III, Valor Extremo de Gumbel Tipo I (EV1). No existen razones que justifiquen que un determinado modelo es mejor que otro y más bien dicha preferencia está supeditada al que represente o describa mejor los datos muestrales. Tratándose de series anuales, la práctica ha demostrado que la distribución del valor extremo de Gumbel da buenos resultados cuando la cantidad y calidad de la información es buena. Debe tenerse siempre presente que un modelamiento, en ningún caso, es mejor que los datos de partida, lo cual implica de que si la información es falseada, aunque el ajuste sea bueno, los resultados no ofrecerán garantía y la simulación guardará poca o nula identidad con los valores reales. Las etapas de un modelamiento probabilístico de variables aleatorias son: Selección del modelo, estimación de los parámetros del modelo o calibración, generación de datos a partir del modelo de predicción o proceso de simulación, pruebas de bondad de ajuste, y resultados.

Simulación y pruebas de bondad de ajuste: Estas pruebas tienen por finalidad verificar que la variable aleatoria se distribuya según una cierta función de probabilidades, se utilizan las pruebas estadísticas siguientes: a) Prueba Chi – cuadrado. b) Prueba de Smirnov–Kolmogorov, se aplica a datos sin agrupar.

Procedimiento:

1. Ordenar los datos de mayor a menor.
2. Asignar una probabilidad empírica a cada dato. La probabilidad empírica más usada en hidrología es la de Weibull. Se expresa:

$$P(x) = 1 - \frac{m}{N+1} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Donde :

$P(x)$  = Probabilidad que tiene el valor de  $x$  de ser alcanzado o superado, cuando la serie ha sido ordenada en forma descendente.

$m$  = N° de orden asignado a cada valor de la secuencia ordenada:  $m = 1, 2, 3 \dots, N$

$N$  = Tamaño muestral de los datos no agrupados.

3. Obtener la desviación máxima entre la probabilidad de distribución empírica o experimental de los datos observados  $P_o(x)$  y la función de distribución de probabilidad teórica o ajustada  $F(x)$ .

4. Según la ecuación:

$$\Delta = \text{máx} | P_o(x) - F(x) | \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Donde:

$\Delta$  = Estadístico de SMIRNOV – KOLMOGOROV.

$P_o(x) = 1 - P(x)$ .

$F(x)$  = Probabilidad de la distribución de ajuste.

5. Obtener el valor crítico del estadístico  $\Delta_o$ , el mismo que se encuentra tabulado para diferentes niveles de significación y tamaño de muestra en la tabla 1, que a continuación se muestra:

**Tabla 1**

Valores críticos de  $\Delta_o$  para la prueba de Smirnov - kolmogorov

TAMAÑO DE LA MUESTRA	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$

5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
40	0.19	0.21	0.25
N grande	$1.22/\Delta N$	$1.36/\Delta N$	$1.63/\Delta N$

Fuente: (Chow 2004)

Para su uso, se toman los criterios de decisión siguientes: Si  $\Delta < \Delta_0$ , se acepta la hipótesis planteada, en vista de que el ajuste es bueno para el nivel de significación seleccionado. Si  $\Delta \geq \Delta_0$ , se rechaza la hipótesis planteada para el nivel de significación seleccionado y se prueba con otra distribución teórica.

Nivel de significación ( $\alpha$ ). En proyectos de ingeniería, los errores de hasta el 5% son aceptables; pero en general, mientras mayor sea la exigencia del proyecto en cuanto a confiabilidad, menor debe ser el nivel de significación del error ( $\Delta$ ). Esto es el nivel de confianza (%) =  $(1 - \alpha) \cdot (100)$ . Frecuentemente en hidrología es suficiente usar un valor máximo de  $\alpha = 0.05$  (5%) ó lo que es lo mismo un nivel de confianza de  $(1 - 0.05) \cdot 100 = 95\%$ . (Chow 2004)

Valor extremo de la distribución de Gumbel (EV1). El modelo EV1 de Gumbel es la distribución que más se adecua para valores extremos de variables aleatorias y ha dado muy buenos resultados para series anuales largas y buena

calidad de la información, este modelo probabilístico, corresponde a la distribución de una variable aleatoria definida como la mayor de una serie de  $N$  variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas con una distribución tipo exponencial. En el campo de la hidráulica se hace imprescindible el conocimiento de las descargas máximas de diseño y sus probabilidades de ocurrencia y tiempos de retorno. Se asume que los datos observados corresponden a una muestra homogénea y representativa de la población de caudales agrupados en una serie anual. Ajustados los datos a este modelo, permite generar descargas extrapoladas para diferentes períodos de retorno y probabilidades de riesgo, la expresión matemática de este modelo es:

$$P (X \leq x) = \exp (- \exp (-\alpha (x - \beta))) \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Donde:

$P (X \leq x)$  = Probabilidad de que no ocurrirán valores  $x$  mayores que  $X$ .

El modelo EV1 permite, con mucha eficiencia, estimar las máximas descargas de diseño en relación al período de retorno, vida útil de las estructuras y riesgos de falla, todo lo cual constituye un problema muy frecuente en la práctica de la hidráulica, la ecuación de predicción es:

$$x = \beta - 1/\alpha * \text{Ln} * [-\text{Ln} (1 - \text{Tr}^{-1})] \quad (\text{Ec. 2.10})$$

La aplicación simultánea de las ecuaciones (2.9) y (2.10), permite obtener los eventos máximos para riesgos de falla  $J$  y períodos de vida útil  $N$  adoptados. Los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  del modelo se estiman a partir de la muestra hidrológica, ya

sea utilizando el método de máxima verosimilitud o el método de momentos, se expresa:

$$\alpha = \delta y / S \quad (\text{Ec. 2.11})$$

para muestras relativamente pequeñas.

$$\beta = \bar{X} - \mu y / \alpha \quad (\text{Ec. 2.12})$$

Donde:

$\bar{X}$  = Media muestral estimada.

S = Desviación estándar estimada.

$\delta y$  = se obtiene de la tabla 2.

$\mu y$  = se obtiene de la tabla 2. (Chow 2004)

**Tabla 2**  
Estadísticos  $\mu y$ ,  $\delta y$

N	$\mu y$	$\Delta y$
05	0.4776	0.8786
10	0.4952	0.9496
15	0.5128	1.0206
20	0.5236	1.0628
25	0.5309	1.0914
30	0.5362	1.1124
35	0.5403	1.1285
40	0.5436	1.1413
45	0.5463	1.1518
50	0.5485	1.1607

Fuente: (Chow 2004)

2.4.4. Socavación: La socavación o erosión local es función de muchos factores, algunos de los cuales son: Características del lecho del fondo insitu, características de los sedimentos transportados, características del hidrograma de avenidas y la historia de anteriores y recientes avenidas, dirección del flujo en el fondo como función de la profundidad del flujo, acumulación de hielo, troncos de árboles, características de las estructuras hidráulicas hechas por el hombre, trabajos de encauzamiento, revestimiento de riberas, esquinas abruptas, geometría forma y distancia entre pilas, construcciones características de los materiales de protección, etc. (Ibáñez 2005)

La socavación general del cauce, es aquella que se produce a todo lo ancho del cauce cuando ocurre una crecida debido al efecto hidráulico de un estrechamiento de la sección, la degradación del fondo del cauce se detiene cuando se alcanzan nuevas condiciones de equilibrio por disminución de la velocidad, a causa del aumento de la sección transversal debido al proceso de erosión. La socavación al pie de los estribos, fue expuesto por K.F. Artamonov, y permite estimar no sólo la profundidad de socavación al pie de estribos, sino además al pie de espigones. Esta erosión depende de: El gasto que teóricamente es interceptado por el espigón, relacionado con el gasto total que escurre por el río, y del talud que tienen los lados del estribo con el ángulo que el eje longitudinal de la estructura forma con la corriente. (Rodríguez 2010)

Evaluación de la erosión local: La cantidad y complejidad de los factores inicialmente indicados, han limitado nuestro conocimiento o aproximaciones experimentales satisfactorias. En ciertos casos, la magnitud básica medible en un flujo es la velocidad media, no así las fluctuaciones turbulentas del flujo,

formación de remolinos y mono turbulencia que sólo pueden ser analizados cualitativamente. Uno debe usar estas magnitudes mesurables para predecir las características de la erosión futura. En muchos casos la erosión debe ser evaluada a través de modelos matemáticos y modelos hidráulicos de laboratorio. (Fattorelli 2011)

#### 2.4.4.1. Modelos matemáticos.

##### A. Carsteus

Definió el concepto de número de sedimentos  $N_s$  y trató de explicar el fenómeno de erosión como una función de este número.

$$N_s = \frac{u}{\sqrt{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1\right) * g * Dg}} \quad (\text{Ec. 2.13})$$

$N_s$ : Numero de sedimentos

$u$  : Velocidad de flujo.

$\gamma_s$  : Peso específico del sedimento.

$Dg$ : Diámetro característico de las partículas superficiales, para determinar

la profundidad de erosión terminal ( $S_T$ )

$g$  : valor de la gravedad

$\gamma$  : peso específico del agua

$$\frac{S_T}{D} = 0.546 \left( \frac{N_s^2 - 1.64}{N_s^2 - 5.02} \right)^{5/6} \quad (\text{Ec. 2.14})$$

$D$ : longitud del muro (entre juntas)

##### B. Meza Alvarez y Sánchez

Modificaron la ecuación de Jaroslavitsiev y propusieron:

$$\frac{S}{a} = K_1 * K_2 \frac{U^2}{ga} - \frac{30Dg}{a} \quad (\text{Ec. 2.15})$$

Donde:

$K_1$  y  $K_2$  son parámetros dados en la Tabla 10 del anexo.

a: longitud del muro (entre juntas)

#### C. Breusers

Sugirió utilizar la ecuación siguiente:

$$St = 1.4 a \quad (\text{Ec. 2.16})$$

#### D. Larnes

propuso la siguiente ecuación:

$$St = 1.42 * K * a * 0.75 \quad (\text{Ec. 2.17})$$

Donde:

$K = 1$  para pilas cilíndricas

$K = 1.4$  para pilas rectangulares, con  $\beta = 0$

#### E. Neil

Propuso una fórmula general:

$$S = K * a \quad (\text{Ec. 2.18})$$

Donde:

$K =$  varía con la forma de la pila según Tabla 11 del anexo

#### F. Coleman

Sugirió la siguiente ecuación:

$$S = 1.49 a^{9/10} \left( \frac{U^2}{2g} \right)^{1/10} \quad (\text{Ec. 2.19})$$

Donde:

$S =$  Profundidad del hueco de erosión (Ibáñez

2005)

#### 2.4.4.2. Modelo hidráulico en laboratorio

El estudio sobre modelos permite una observación visual del flujo y hace posible obtener información de lo que puede suceder en el prototipo. Para obtener información cuantitativa acertada en un estudio con un modelo, debe existir similitud dinámica entre modelo y prototipo. Esta similitud requiere que exista similitud geométrica exacta y que la relación de presiones dinámicas en puntos correspondientes sea una constante, denominándose a esto similitud cinemática. La similitud geométrica se extiende a las dimensiones lineales de los elementos intervinientes, como pueden ser: ancho de cauce, tamaño de cantos rodados, pendientes, etc., con esto se logra que las fuerzas de presión estáticas y dinámicas sean semejantes en los puntos correspondientes. Cumplir estrictamente con estos requisitos, generalmente es algo imposible, sin embargo se puede lograr grandes similitudes entre el funcionamiento del modelo y prototipo si se consideran la mayoría de parámetros intervinientes. La semejanza geométrica es determinada por las relaciones homologas entre modelo y prototipo, y se expresa:

$$\frac{L_{modelo}}{L_{prototipo}} = L_{relativa}, \text{ o también: } \frac{A_{modelo}}{A_{prototipo}} = A_{relativa}$$

La semejanza cinemática sucede cuando las partículas fluidas tienen velocidades y trayectorias similares en puntos homólogos y viene dado por:

$$\frac{V1_m}{V1_p} = \frac{V2_m}{V2_p} = \frac{V3_m}{V3_p} \dots \dots \dots = \frac{Vn_m}{Vn_p}$$

La semejanza dinámica o de fuerzas, existe en puntos homólogos entre modelo y prototipo, y para que esto suceda es necesario que previamente exista semejanza geométrica y cinemática, y se expresa por:

$$\frac{F_{1m}}{F_{1p}} = \frac{F_{2m}}{F_{2p}} \dots \dots \dots = \frac{F_{nm}}{F_{np}} \quad (\text{Streeter 2007, Sotelo$$

2010)

## 2.5. Definición de términos básicos.

- **Ámbito:** Espacio físico o funcional, enmarcado según razones físico geográficas, socio económicas entre otras. (Chow 2004)
- **Ciclo hidrológico:** Movimiento del agua en un ciclo, que va de la atmosfera a la tierra a través de cinco fases: precipitación, evaporación, transpiración, escorrentía superficial y subterránea. (Chow 2004)
- **Cuenca hidrográfica:** Área natural donde el escurrimiento de los cursos de agua desembocan a un colector común, las cuencas están separadas entre sí por la línea divisoria de aguas. (Chow 2004)
- **Cuenca Hidrográfica Hidrológica:** Es una porción de terreno donde todas las aguas de escorrentía superficial confluyen en un solo punto del curso de agua llamado emisor. (Chow 2004)
- **Enfoque:** Manera de considerar y tratar un asunto. (Villón 2011)
- **Erosión:** Pérdida o desaparición de suelo superficial, por factores externos como el agua que ocasiona una tormenta. (Rocha 2007)
- **Intensidad de precipitación:** Magnitud que mide el grado de agua en la unidad de tiempo. (Villón 2011)
- **Límite de cuenca:** Sinónimo de divortium acuarium, o divisoria de agua, puntos máximos en los cuales el agua de la precipitación pluvial discurre hacia una vertiente. (Villón 2011)
- **Sistema Hidrológico:** es un conjunto de procesos (físicos, químicos y biológicos) que actuando sobre una o más variables de entrada lo transforman o convierten en una o más variables de salida. (Chow 2004)
- **Socavación:** Socavar significa excavar por debajo de alguna cosa dejándola en falso. (Rocha 2007)

## **CAPÍTULO III. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS**

### **3.1. Hipótesis**

La profundidad de socavación en el cauce del río Crisnejas adyacente al muro de encauzamiento, en el centro poblado de Aguas Calientes-San Marcos-Cajamarca, es mayor a 1.8 metros.

El modelo más conservador para determinar la profundidad de socavación en el cauce del río Crisnejas adyacente al muro de encauzamiento, es el modelo hidráulico en laboratorio en comparación al modelamiento matemático

### **3.2. Variables Intervinientes**

#### 3.2.1. Variables Independientes

- Caudal en máxima avenida del río Crisnejas
- Velocidad de flujo para el caudal máximo
- Pendiente del cauce del río

#### 3.2.2. Variables Dependientes

- Socavación del río Crisnejas.
- Profundidad de la cimentación (alternativa técnica).

### 3.3. Operacionalización de variables

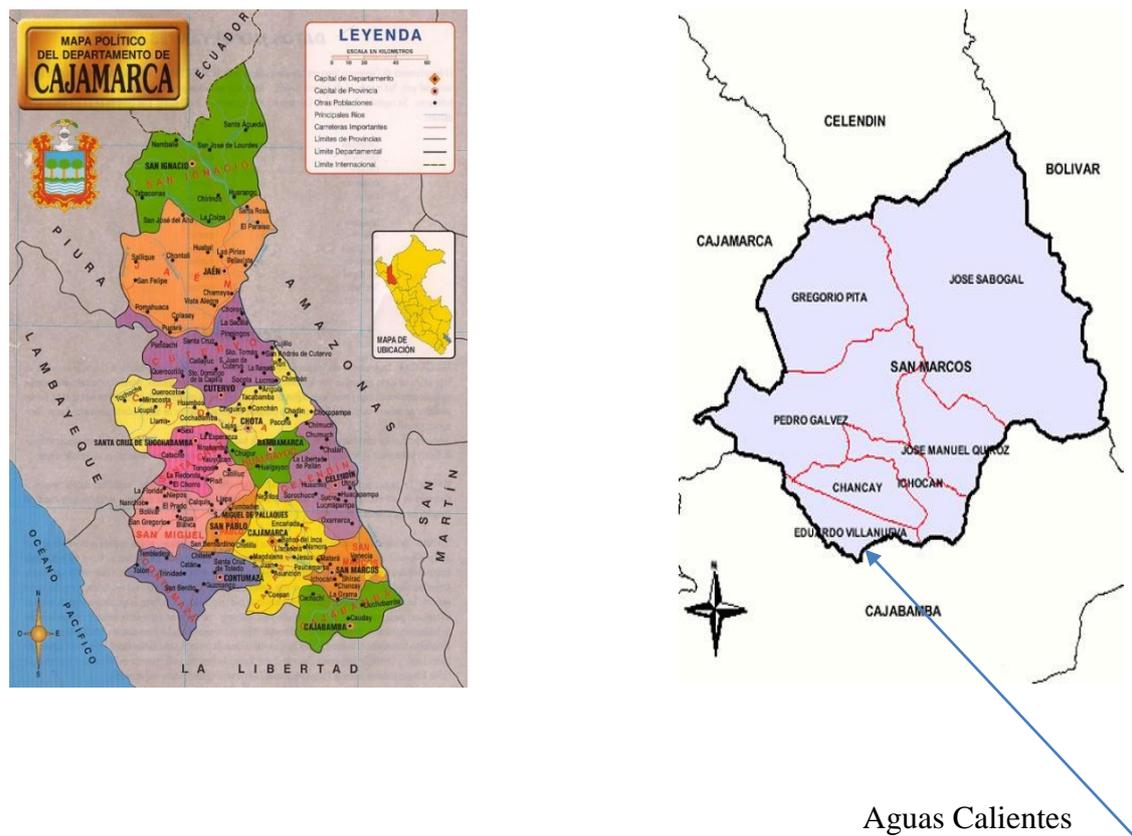
**Tabla 3**  
Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICION	UNIDADES
<b>INDEPENDIENTES</b>		
Caudal	Volumen de agua que el río transporta en la unidad de tiempo	m <sup>3</sup> /S
Velocidad de flujo	Longitud que la partícula fluida recorre En la unidad de tiempo	m/S
Pendiente del cauce	Desnivel del cauce del río por cada Unidad de longitud	%
<b>DEPENDIENTES</b>		
Socavación	Socavar significa excavar por debajo de de algo dejándolo en falso	m.
Profundidad	Característica técnica de la cimentación	m.

## CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO.

### 4.1. Ubicación geográfica

La zona de estudio del presente proyecto, se encuentra ubicada en el centro poblado de Aguas Calientes a orillas del río Crisnejas, en el Km. 85 de la carretera Cajamarca – Cajabamba. Geográficamente, se ubica en las coordenadas UTM 17 M 818796 y 9174079, a una altitud de 1850 m.s.n.m. Políticamente pertenece al distrito de Eduardo Villanueva, Provincia de San Marcos, Región Cajamarca.



**Figura 1**

Croquis de ubicación

## **4.2. Métodos de investigación**

La metodología para el presente trabajo de investigación es de tipo tecnológico o aplicado por que corresponde a las ciencias aplicadas y es de tipo Causal cuantitativo comparativo porque surge debido a la necesidad de conservar una estructura hidráulica que sirve para proteger a una población frente a una amenaza natural, para luego proporcionar alternativas de solución cuantificadas, obtenidas haciendo uso de los modelos matemáticos y comparándolos con el modelo hidráulico de laboratorio.

## **4.3. Diseño de la investigación**

Las etapas o fases de la investigación son:

4.3.1. Fase preliminar: Realizado en gabinete para la planificación del trabajo.

4.3.2. Fase de campo

- Para determinar la granulometría de los sólidos de fondo del cauce del río, se ha utilizado el método tecnológico o aplicado, es así que se ha tomado muestras en cinco puntos diferentes elegidos al azar en el cauce del río, las que han sido trasladadas al laboratorio para su procesamiento

- Los caudales medidos en la zona del proyecto han sido obtenidos de SENAMHI.

4.3.3. Fase de laboratorio

- La muestra de sólidos tomada en el cauce del río , ha sido procesada, de tal manera que en el laboratorio se extiende dicha muestra y se divide en cuatro partes iguales (cuarteo), habiéndose tomado para el ensayo granulométrico, partes proporcionales de cada una de ellas, luego se procede a pesar toda la

muestra seleccionada y realizar el tamizado, seguidamente se pesa las cantidades retenidas en cada malla, luego se calcula el porcentaje parcial y acumulado de los pesos ya medidos, y por diferencia del total (100 %) se determina el porcentaje de material pasante por las mallas, con estos últimos datos se elabora la curva granulométrica.

- Haciendo uso de las características para el modelo hidráulico, obtenidas en el ítem 4.6.4.2. se procedió a ensayar el modelo en el canal de pendiente variable del laboratorio de ingeniería hidráulica de la UNC.

#### 4.3.3. Fase de gabinete.

- Con la información hidrológica obtenida de SENAMHI, consistente en caudales registrados in situ, se ha generado el caudal para máxima avenida aplicando los modelos estadísticos de Smirnov-Kolmogorof y Gumbel.
- Se ha determinado la socavación en el cauce del río adyacente al muro de encauzamiento, haciendo uso de los modelos de Carsteus, Meza y Sanchez, Breusers, Larnes, Niel, y Coleman.
- Igualmente se ha determinado la socavación para el prototipo en el cauce del río adyacente al muro de encauzamiento, en base a la socavación obtenida en el modelo hidráulico de laboratorio.

#### **4.4. Población, muestra, unidades de análisis y unidad de observación**

- La población comprende desde la formación del río Crisnejas en la confluencia de los ríos Cajamarquino y Huamachuquino, hasta la desembocadura en el río Marañón.
- La muestra se ubica en el centro poblado de Aguas Calientes, a lo largo del muro de defensa ubicado a orillas del río Crisnejas.

- La unidad de análisis es el río, del mismo que se determina el máximo caudal y la profundidad de socavación.
- La unidad de observación consiste en la recolección de aforos diarios del río Crisnejas desde junio del 2008, hasta Agosto del 2013 proporcionados por SENAMHI, así como también la toma de muestras del río en la zona del muro de encausamiento con lo cual se ha confeccionado la curva granulométrica, así como también la observación del comportamiento del modelo hidráulico en laboratorio.

#### **4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información**

Los datos recolectados para el presente trabajo debido a la cantidad que representan han sido ubicados como anexo, y corresponden a:

- 4.5.1. Muestreo del lecho del río Crisnejas, a la altura del muro de encauce, en base a lo cual se ha confeccionado la curva granulométrica, la misma que nos ha permitido obtener datos para ser usados en la determinación de la socavación. Se ha hecho uso de instrumentos rudimentarios como una pala, un pico, y un costal de vinílico.
- 4.5.2. Aforos diarios del río en la zona del muro de encausamiento desde Junio del 2008 hasta Agosto del 2013, que nos ha servido para determinar el caudal en máxima avenida, el mismo que produce la mayor socavación. La técnica usada es mediante el empleo de los modelos estadísticos de Smirnov Kolmogorov y Gumbel.

#### **4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información**

- 4.6.1. Procesamiento de muestras del cauce del río.

En esta parte se presenta el proceso y cálculos para el análisis granulométrico de una muestra de material del cauce del río Crisnejas, utilizando el método

mecánico por tamizado haciendo uso de los tamices de 3", 2½", 2", 1½", 1", ¾", 3/8", No. 4, dispuestos sucesivamente de mayor a menor, colocando al final la cazoleta o receptáculo. Con los resultados se confecciona una curva logarítmica, de la cual se puede determinar cantidades del material tamizado al 50%, 40%, 10% del material que pasa por una determinada malla. Todo el proceso se plasma en una curva logarítmica elaborada en base al tamaño de material pasante por las mallas y las cantidades en peso respectivas, como se muestra en el anexo, página número 46.

**4.6.2.** Procesamiento de aforos tomados en el río crisnejas a la altura del muro de encausamiento, y determinación del caudal máximo de diseño.

A. Caudales máximos anuales obtenidos de los aforos diarios desde el 2008 al 2013:

**Tabla 4**  
Caudales máximos seleccionados

Nº	Año	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /S)
1	2008	2,317.41
2	2009	3,603.39
3	2010	3,017.01
4	2011	3,228.51
5	2012	3,289.92
6	2013	2,695.62

B. Modelamiento probatorio de la serie de descargas máximas

$$\text{Media muestral: } X = 3,025.31 \quad (\text{Ec. 2.1})$$

$$\text{Desviación standard: } S = 459.428 \quad (\text{Ec. 2.3})$$

C. Parámetros de distribución Gumbel.

$$\alpha = 0.8928/459.428 = 0.00194 \quad (\text{Ec. 2.11})$$

2.11)

$$\beta = 3025.31 - (0.4811/0.00194) = 2777.320 \quad (\text{Ec. 2.12})$$

2.12)

D. Prueba de bondad de ajuste (Smirnov-Kolmogorof)

**Tabla 5**

Ordenamiento de caudales reales

Nº orden	Qmax (m3/s)	prob. Weibull (Ec. 2.7)	prob. modelo (Ec. 2.9)	$\Delta$ calculado (Ec. 2.8)
1	3,603.39	0.8571	0.8176	0.0395
2	3,289.92	0.7143	0.6908	0.0235
3	3,228.51	0.5714	0.6592	0.0878
4	3,017.01	0.4286	0.5337	0.1051
5	2,695.62	0.2857	0.3099	0.0242
6	2,317.41	0.1429	0.0873	0.0556

El valor mayor de  $\Delta$  calculado es 0.1051, y el valor estadístico para la muestra considerada, para  $\alpha = 0.05$  para proyectos de ingeniería según tabla 1, es 0.53, como  $\Delta_{\text{calc.}} < \Delta_{\text{tab}}$ . El modelo es aplicable a la muestra.

E. Aplicación del modelo de Gumbel para obtener caudales máximos para diferentes periodos de retorno, considerando una vida útil (N) de 50 años

**Tabla 6**  
Caudales modelados

Riesgo de falla (J %)	Vida útil (N años)	Tr. (Ec. 2.6)	Caudales modelados (Ec. 2.10)
20	50	224.57	5,566.98
30	50	140.68	5,325.22
40	50	98.38	5,140.07
50	50	72.64	4,982.78

F. El caudal máximo de diseño elegido para un periodo de vida útil de 50 años con un riesgo de falla del 50 % es: 4,983 m<sup>3</sup>/S.

#### 4.6.3 Determinación de la socavación aplicando modelos matemáticos

##### 4.6.3.1. Carsteus

$$N_s = \frac{22.03}{\sqrt{\left(\frac{26183}{1000} - 1\right) * 9.81 * 0.0225}} = 36.86 \quad (\text{Ec. 2.13})$$

$$\frac{S_T}{L} = 0.546 \left( \frac{36.86^2 - 1.64}{36.86^2 - 5.02} \right)^{5/6} = 0.5478 \quad (\text{Ec. 2.14})$$

St = L x 0.5478 (L=longitud de muro expuesta al flujo: 3.5 m.)

$$St = 3.5 \times 0.5478 = \mathbf{1.917 \text{ m.}}$$

##### 4.6.3.2. Meza Álvarez y Sánchez

$$\frac{S}{a} = K_1 * K_2 \frac{U^2}{ga} - \frac{30Dg}{a} \quad (\text{Ec. 2.15})$$

De tabla 10, para  $\beta=0^\circ$  ( muro rectangular)  $K_1= 8.5$

Según Tabla 10, para tirante 3.1 m.(max. Av.) y  $V^2/ga$ : mayor valor = 0.25,  $K_2=0.75$

Ancho de muro:  $a = 1.50 \text{ m.}$

De curva granulométrica:  $D_g = D_{50} = 22.54$

Considerando la velocidad de flujo junto al muro 10% de la veloc. Max en el eje del río se sustituye:

$$\frac{S}{a} = 8.5 * 0.75 \frac{2.203^2}{9.81 * 1.5} - \frac{30 * 0.0225}{1.5} = 1.653$$

$$S = 1.5 * 1.653 = \mathbf{2.48 \text{ m.}}$$

## 4.6.3.3. Breusers

$$St = 1.4 a \quad (\text{Ec. 2.16})$$

$$a = 1.5 \text{ (Ancho de muro)}$$

$$St = 1.4 * 1.5 = \mathbf{2.10 \text{ m.}}$$

## 4.6.3.4. Larnes

$$St = 1.42 K * a^{0.75} \quad (\text{Ec. 2.17})$$

Larnes recomienda:  $K = 1.4$  para pilas rectangulares, con  $\beta = 0$  (debido a que el muro solo tiene contacto lateral con el agua por una sola cara, asumimos  $K = 0.7$ )

$$St = 1.42 * 0.7 * 3.5^{0.75} = \mathbf{2.54 \text{ m.}}$$

## 4.6.3.5. Niel:

$$S = Ka \quad (\text{Ec. 2.18})$$

Donde  $K$  varía con la forma de la pila (ver tabla 11)

$$S = 1.2 * 1.5 = \mathbf{1.80 \text{ m.}}$$

## 4.6.3.6. Coleman

$$S = 1.49 a^{9/10} \left( \frac{U^2}{2g} \right)^{1/10} \quad (\text{Ec. 2.19})$$

Donde:

$S$  = Profundidad del hueco de erosión

$$S = 1.49 * 1.5^{9/10} \left( \frac{2.203^2}{2 * 9.81} \right)^{1/10} = \mathbf{1.87 \text{ m.}}$$

#### 4.6.4. Modelo hidráulico en laboratorio

## 4.6.4.1. Características del prototipo (Río):

Ancho	: 74 m.
Rugosidad del cauce	: 0.025
Pendiente	: 0.1 m/m
Caudal máximo modelado	: 4,788.63 m <sup>3</sup> /s.m
Sección modelada	: 226.18 m <sup>2</sup>
Longitud de muro entre juntas	: 3.50 m.
Velocidad de flujo generado	: 21.17 m/s.
Curva granulométrica	: (tabla anexo)

## 4.6.4.2. Características para el modelo

Ancho de canal disponible	: 0.23 m.
Altura de canal disponible	: 0.30 m.

## A. Determinación del caudal para el modelo:

Escala geométrica	: 1 / 321.74
Relación de caudales	: $\frac{Q_m}{Q_p} = \frac{L_m^3/T_m}{L_p^3/T_p} = \frac{L_r^3}{T_r} = Q_r$
Fuerzas estáticas	: $\frac{W_m}{W_p} = \frac{\text{Peso modelo}}{\text{Peso prototipo}} = \frac{\gamma_m V_m}{\gamma_p V_p} = \gamma_r V_r = \gamma_r L_r^3$
Fuerzas de movimiento (F = m * a):	$\frac{M_m a_m}{M_p a_p} = \frac{\rho_m V_m}{\rho_p V_p} * \frac{L_m/T_m^2}{L_p/T_p^2} = \rho_r L_r^3 L_r T_r^{-2}$

Igualando fuerzas:  $\gamma_r L_r^3 = \rho_r L_r^3 L_r T_r^{-2}$  de donde:  $L_r = T_r^2$  o  $T_r = \sqrt{L_r}$

$$\text{Luego} \quad : \quad Q_r = \frac{L_r^3}{\sqrt{L_r}} = L_r^{\frac{5}{2}} = \frac{Q_m}{Q_p}$$

$$\text{Sustituyendo datos} : Q_m = Q_p * L_r^{\frac{5}{2}} = 4,788.63 \frac{m}{s} * \left(\frac{1}{321.74}\right)^{\frac{5}{2}} = 0.0026 m^3/s$$

**Q<sub>m</sub> = 2.6 l/S** (Caudal para el modelo)

## B. Tiempo de prueba en el modelo:

Tiempo real de máxima avenida: 90 min.

$$\text{De la ecuación: } T_r = \sqrt{L_r} \quad \text{o} \quad \frac{T_m}{T_p} = \sqrt{\frac{1}{321.74}} \quad \dots T_m = 90 * \sqrt{\frac{1}{321.74}}$$

Se tiene:  **$T_m = 5.01 \text{ min.}$**

**C.** Socavaciones esperadas en el modelo:

Profundidad de socavación considerada en modelos matemáticos: 2.50 m.

$$\frac{P_m}{P_p} = L_r \quad \dots P_m = 2.50 * \frac{1}{321.74} = 0.0077 \text{ m}$$

Se tiene:  **$P_m = 8 \text{ mm.}$**

**D.** Tamaño de suelo para el modelo:

Del análisis granulométrico se ha obtenido los porcentajes retenidos para el modelo:

% retenido	Nº de malla
15.20	50
24.82	100
31.08	200
28.90	finos

#### **4.7. Equipo, materiales e insumos.**

##### 4.7.1. Equipos de laboratorio



<p><b>Pregunta general:</b> -¿Cuáles es la profundidad de socavación del cauce del río Criznejas, junto al muro de encauzamiento, en el ámbito geográfico del centro poblado de Aguas Calientes – San Marcos – Cajamarca? -¿Cuál es el modelo más conservador: el modelamiento matemático o el modelo hidráulico de laboratorio, para la profundidad de socavación del cauce del río Criznejas, junto al muro de encauzamiento, en el ámbito geográfico del centro poblado de Aguas Calientes – San Marcos – Cajamarca?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Evaluar la profundidad de socavación del cauce del río Criznejas junto al muro de encauce en el ámbito geográfico del centro poblado de Aguas Calientes – San Marcos – Cajamarca. <b>Objetivos específicos:</b> -Determinar el caudal en máxima avenida del río Criznejas. -Determinar la profundidad mínima de la cimentación para los muros de protección y encauzamiento -Determinar la socavación usando modelos matemáticos -Determinar la socavación usando modelo hidráulico de laboratorio</p>	<p><b>Hipótesis general:</b> -La profundidad de socavación del río Criznejas, adyacente al muro de encausamiento, en el centro poblado de Aguas Calientes-San Marcos-Cajamarca es mayor a 1.8 m. -El modelo más conservador para determinar la profundidad de socavación en el cauce del río Criznejas, es el modelo hidráulico de laboratorio, frente a los modelos matemáticos.</p>	<p><b>Variables Independientes:</b> -Caudal en máxima avenida del río Criznejas -Velocidad de flujo  -pendiente del cauce.  <b>Variables Dependientes:</b> .Socavación del río Criznejas.  .Profundidad de la cimentación (alternativa técnica).</p>	<p>-Volumen de agua que el río transporta en la unidad de tiempo -longitud por unidad de tiempo  -desnivel por unidad de longitud  -Socavar significa excavar por debajo de alguna cosa, dejándolo en falso  -Característica técnica de la cimentación</p>	<p>m<sup>3</sup>/S  m/S  %  m.  m.</p>	<p>SENAMH I (Aforos)  Río (muestras de sólidos del cauce)</p>	<p>Investigación tecnológica aplicada de tipo causal cuantitativo</p>	<p><b>Población:</b> Río criznejas  <b>Muestra:</b> Parte del río, junto al muro de encauce, a la altura del centro poblado de Aguas Calientes.</p>
---	--	---	--	--	--	---	---	---

## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Presentación de los resultados

5.1.1. Del modelamiento matemático se tiene:

**Tabla 8**  
Socavaciones – modelos matemáticos

VALORES DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (m.)					
Carsteus	Meza	Breusers	Larnes	Niel	Coleman
1.91	2.48	2.10	2.54 m.	1.80	1.87

5.1.2. Del modelo hidráulico en laboratorio tenemos:

Se ha medido socavaciones entre 8.5 y 9 mm., que equivale a **2.80 metros**

## 5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados

Puede verse en la tabla 8, que los valores obtenidos para los modelos aplicados, la profundidad de socavación varía entre 1.80 m., que es la mínima (Niel), hasta 2.54 m., que es la máxima (Larnes), presentándose una diferencia de 0.74 m. Los otros modelos arrojan valores intermedios. Por otra parte del modelo hidráulico en laboratorio se ha obtenido una profundidad de socavación de 2.80 m. Teniendo en consideración que los valores de socavación son similares, puede optarse por sacar el promedio, como valor representativo de la socavación para la zona de estudio; sin embargo, teniéndose en cuenta que la velocidad de flujo es grande y que los meandros que se forman en el cauce del río son cambiantes de un año a otro, puede suceder que en alguna ocasión el flujo sea en mayor cantidad por la zona del muro de defensa, lo que ocasionaría una erosión mayor no prevista. Frente a este comportamiento del río se puede considerar como profundidad de socavación para la zona de estudio la que se obtiene del promedio del modelo Larnes (2.54 m), y el modelo de laboratorio (2.80 m) Vale decir 2.70 m.; Sin embargo se recomienda optar por el lado de la seguridad, por lo que la profundidad de socavación a optar debe ser, 2.80 m.

## 5.3. Contrastación de hipótesis

Se ha logrado determinar la profundidad representativa de socavación en el cauce del río Crisnejas adyacente al muro de encauzamiento, en el centro poblado de Aguas Calientes-San Marcos-Cajamarca, como 2.80 m., concordante con la hipótesis planteada cual es, que la socavación del río Crisnejas en la zona antes mencionada es mayor que 1.80 m. Así mismo, este valor asumido de 2.80 m. para la socavación, ha sido obtenido del modelo hidráulico de laboratorio, planteado como el más conservador.

## **CAPÍTULO VI. PROPUESTA**

### **6.1. Formulación de la propuesta para la solución del problema**

Del análisis de los resultados obtenidos a través de los modelos matemáticos considerados y la comparación con el modelo hidráulico de laboratorio, se propone como profundidad representativa de la socavación 2.80 metros, la misma que debe tomarse para la cimentación del muro que se tenga que construir para defensa y encauzamiento del río Crisnejas a la altura del centro poblado de Aguas Calientes - San Marcos-Cajamarca.

### **6.2. Costos de implementación de la propuesta**

Los costos que implique implementar la propuesta planteada obedecerán al expediente técnico que se formule, teniendo en consideración la demolición del muro actual que esta fallado y la construcción de un nuevo muro con las características de cimentación propuestas en el presente trabajo en lo que a profundidad cimentación corresponde.

### **6.3. Beneficios que aportará la propuesta**

Los beneficios que aportará la propuesta, concordantes con los objetivos y la justificación, radican en la seguridad que se tenga al implementar la propuesta, pues se evitará inundaciones y propagación de plagas debido a polución de insectos como consecuencia de aguas estancadas, pérdidas de vidas humanas, perdidas de áreas agrícolas y pecuarias, así mismo se tendrá seguridad para el turismo.

## **CONCLUSIONES**

- La socavación en el cauce del río Crisnejas, junto al muro de encauzamiento para el centro poblado de Aguas Calientes, con modelos matemáticos, varió desde 1.80 m. como mínimo (Niel), hasta 2.54 m. que es la máxima (Larnes).
- El caudal en máxima avenida, del río Crisnejas, es de 4,788.63 m<sup>3</sup>/S y seguí los modelos estadísticos de Smirnov Kolmogorov y Gumbel.
- La socavación en el cauce del río Crisnejas, junto al muro de encauzamiento para el centro poblado de Aguas Calientes, mediante el modelo hidráulico en laboratorio, es 2.80 metros de profundidad.
- La profundidad mínima para la cimentación de muros de protección y encausamiento, para el centro poblado de Aguas Calientes-San Marcos-Cajamarca es 2.80 metros.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda que para el diseño del muro de encausamiento en el río Crisnejas a la altura del centro poblado de Aguas Calientes, San Marcos-Cajamarca, se tome como profundidad de cimentación, 2.80 m., la misma que será medida a partir de la parte inferior del cauce del río.
- Los estudios de mecánica de suelos, con fines de cimentación serán elaborados a la profundidad determinada por la teoría de distribución de esfuerzos debido a carga estática, y considerando la profundidad de socavación.

## **CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

### **Bibliografía:**

- Alcántara, V. 2011. Introducción a la Filosofía de la Ciencia. Ediciones EDUNT, Trujillo- Perú
- Alvares Moreno, C. 2007. Tesis: Mitigación de la Socavación del Río Negro. Bogotá, Colombia. 124p.
- Chow Ven, T. 2004. Hidráulica de Canales Abiertos. 1 ed. Nomos, Colombia.  
Editorial, Mc GRAW–HILL. Santa Fe de Bogotá. 633 p.
- Fattorelli, S., Fernández, P. 2011. Diseño Hidrológico. 2 ed. Digital. Editorial Zaragoza. 531 p.
- Farias, H. 2012. Socavación en Pilas de Puentes. Santiago del Estero, Argentina
- Juárez Badillo, E. 2012. Mecánica de suelos. Edit. Limusa. México D.F. 250 p.
- Ibáñez, P. 2005. Diseño de Obras Hidráulicas. 2 ed. Edit. Laser Jet, ACI-UNI. Perú. 250 p.
- López Cualla, R. 2000. Diseño de Acueductos y Alcantarillados. Reimpresión, 2 ed. Editorial Alfa omega. Colombia. 402 p.
- Ramírez Leon, J. 2009. Producción de Sedimentos en la Cuenca del Río Apulco. México. 173 p.
- Reyes Carrasco, L. 1992. Hidrología Básica. 2 ed. Editorial Concytec. Perú. 220 p.
- Rocha Felices, A. 2007. Hidráulica de Tuberías y Canales. 2ed. Editorial EDUNI. Perú. 270 p.
- Rodríguez Díaz, H. 2010. Hidráulica Fluvial, fundamentos y aplicaciones, socavación. 1ed. Editorial ECÍ. 372 p.
- Sotelo Ávila, G. 2010, Hidráulica General. Editorial. Limusa. México. 595 p.

- Streeter, V., Wylie, B., Bedford, K. 2007. Mecánica de Fluidos. 9 ed. Editorial Mc Graw Hill. Colombia. 740p.
- Villón Béjar, M. 2011. Hidrología. Reimp. 2 ed. Editorial Villón. Perú. 433p.
- Villón Béjar, M. 2011. Hidrología Estadística. Reimp. 2 ed. Editorial Villón. Perú. 436p.
- Villón Béjar, M. 2007. Hidráulica de Canales. 2ed. Editorial Villón. Perú. 508p.
- Villón Béjar, M. 2013. Diseño de Estructuras Hidráulicas. 3ed. Editorial Villón. Perú. 177p.

**Revistas:**

- Cristancho García, G. 2003. Estudio y Análisis para obras de prevención. Edit. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá Colombia.
- Rosell Calderón, C. 1998. Irrigación. 2ed. EDUNI Perú. 305p.

**Linkologia:**

- Asencio, L. 2013. Guía Turística Aguas Calientes San Marcos – Cajamarca. Disponible en: [www.ppp.com.pe](http://www.ppp.com.pe)
- Ellis, E. 2009. Evaluación Geográfica de Áreas Susceptibles a Inundación en la Cuenca de Rio Tuxpan, Veracruz México. Disponible en: [ellis\\_eddie@yahoo.com](mailto:ellis_eddie@yahoo.com)
- Ferradas, P. 1994. Desastres y Sociedad – Desbordes, inundaciones y diluvios. Disponible en: [www.desenredando.org](http://www.desenredando.org)
- Orangel, J. 2011. Análisis de la vulnerabilidad y el riesgo a inundaciones en la cuenca baja del Rio Gaira. Sta. Marta, Colombia. Disponible en: [orangelnoriega@gmail.com](mailto:orangelnoriega@gmail.com)

## **ANEXOS**

1. Tabla 9: Curva granulométrica (Página: 46)
2. Tabla 10: Maza Álvarez (Página: 47)
3. Tabla 11: Niel (Página: 48)
4. Tabla 12: Aforos río Crisnejas (Página: 49)
5. Figuras fotográficas (Páginas: 89-96)

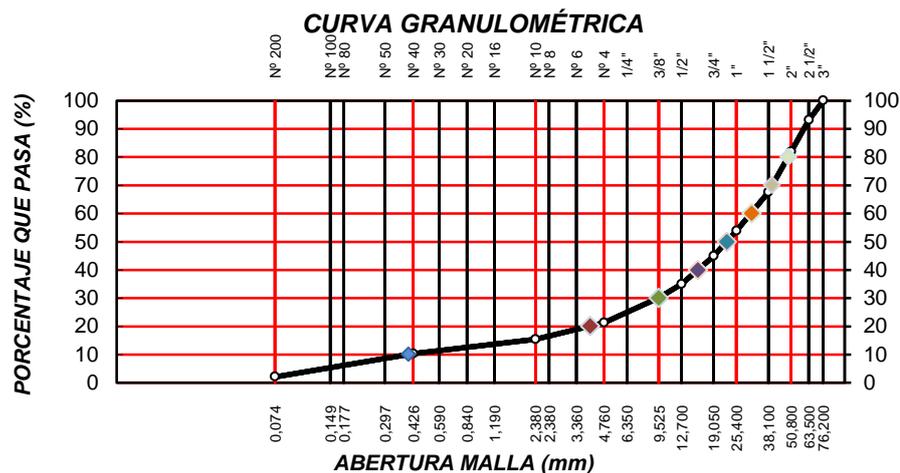
Tabla 9

ENSAYO: Análisis granulométrico cauce río Crisnejas

Peso muestra: 29046.1 g.

Malla N°	Malla (mm)	P. R.(gr.)	P.R. (%)	P.R.A (%)	% PASA
2 1/2"	63,500	2.004,5	6.9	6.9	93.1
2"	50,800	3.243,8	11.2	18.1	81.9
1 1/2"	38,100	4.144,7	14.3	32.4	67.6
1"	25,400	3.991,7	13.8	46.2	53.8
3/4"	19,050	2.594,6	8.9	55.1	44.9
1/2"	12,700	2.862,6	9.9	65.0	35.0
3/8"	9,525	1.416,9	4.9	69.9	30.1
N° 4	4,760	790,1	2.7	78.7	21.3
N° 10	2,000	208,0	5.9	84.6	15.4
N° 20	0,840	109,8	3.1	87.7	12.3
N° 30	0,590	32,9	0.9	88.6	11.4
N° 40	0,426	39,4	1.1	89.7	10.3
N° 50	0,297	61,1	1.7	91.4	8.6
N° 100	0,149	149,6	4.3	95.7	4.3
N° 200	0,074	76,7	2.2	97.9	2.1
Cazoleta		73,9	2.1	100.0	0.0

TOTAL: 29046.1 g.



D10 = 0.40 mm.

D50 = 22.54 mm.

D30 = 9.51 mm.

D90 = 48.98 mm.

D40 = 15.61 mm.

**Tabla 10**

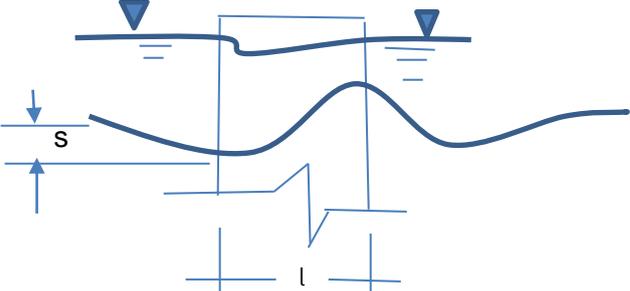
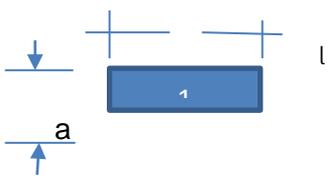
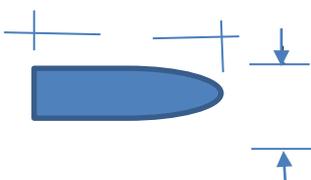
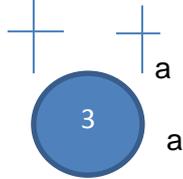
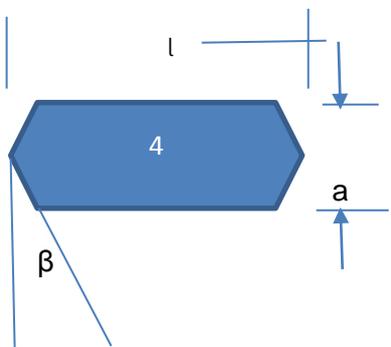
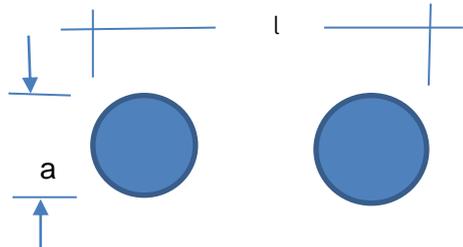
Coeficiente K1 y K2 para modelo Maza Álvarez

FORMA DE LA PILA	VALORES DE K1				
	$\beta$	0	10	20	30
CIRCULAR	10.00				
PRISMÁTICA	8.5	8.7	9	10.3	11.3

$\frac{d_1}{a}$	VALORES DE K2				
	$\frac{v^2}{ga} =$	0.25	0.15	0.10	0.04
d1: tirante aguas arriba					
1.80		0.75	0.95	1.15	1.40
2.20		0.75	0.95	1.10	1.35
2.60		0.75	0.90	1.10	1.30
3.00		0.75	0.90	1.10	1.30

Fuente: (Ibáñez 2005)

**Tabla 11**  
Valores de K para modelo Niel

Forma de la pila en perfil	Valor de K sugerido para erosión local
	<p>Pila 1 = 2.0</p> <p>Pila 2 = 1.5</p> <p>Pila 3 = 1.5</p> <p>Pila 4 = 1.2</p>
 <p>1</p> <p>Rectangular</p>  <p>2</p> <p>Redondeado</p>	 <p>3</p> <p>Cilindro</p>
 <p>4</p> <p>Afilado</p>	 <p>Grupo de cilindros</p>

Fuente: (Ibáñez 2005)

AFOROS RIO CRISNEJAS

Tabla 12  
Aforos río Crisnejas

SENAMHI

Ancho de río : 74 m.

Pendiente del río : 0.1 m. / m.

Rugosidad del río : 0.025

Dia/mes/año	Nivel del río (m.)				Promedio De Nivel	Área	Radio Hidráulico	Caudal m3/S	Caudal anual m3/S 540.95 (2008)
	6	10	14	18					

01-Jun-08	0.7	0.7	0.69	0.69	0.695	51.43	0.682	504.13
02-Jun-08	0.7	0.7	0.69	0.69	0.695	51.43	0.682	504.13
03-Jun-08	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	51.06	0.677	498.15
04-Jun-08	0.69	0.69	0.69	0.68	0.6875	50.875	0.675	495.16
05-Jun-08	0.69	0.69	0.68	0.68	0.685	50.69	0.673	492.19
06-Jun-08	0.68	0.68	0.68	0.67	0.6775	50.135	0.665	483.30
07-Jun-08	0.68	0.68	0.67	0.67	0.675	49.95	0.663	480.36
08-Jun-08	0.67	0.67	0.66	0.65	0.6625	49.025	0.651	465.73
09-Jun-08	0.66	0.66	0.66	0.65	0.6575	48.655	0.646	459.92
10-Jun-08	0.65	0.65	0.64	0.64	0.645	47.73	0.634	445.54
11-Jun-08	0.65	0.65	0.64	0.64	0.645	47.73	0.634	445.54
12-Jun-08	0.67	0.67	0.66	0.66	0.665	49.21	0.653	468.64
13-Jun-08	0.66	0.66	0.66	0.65	0.6575	48.655	0.646	459.92
14-Jun-08	0.68	0.68	0.67	0.66	0.6725	49.765	0.660	477.42
15-Jun-08	0.69	0.69	0.69	0.68	0.6875	50.875	0.675	495.16
16-Jun-08	0.68	0.68	0.67	0.67	0.675	49.95	0.663	480.36
17-Jun-08	0.67	0.67	0.66	0.66	0.665	48.84	0.653	468.64
18-Jun-08	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	48.285	0.648	462.82
19-Jun-08	0.66	0.66	0.65	0.64	0.6525	47.915	0.641	454.15
20-Jun-08	0.65	0.65	0.65	0.64	0.6475	47.545	0.636	448.40
21-Jun-08	0.65	0.65	0.64	0.63	0.6425	47.36	0.632	442.69
22-Jun-08	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	48.84	0.629	439.84
23-Jun-08	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	53.465	0.648	462.82
24-Jun-08	0.7	0.71	0.73	0.75	0.7225	55.13	0.709	437.55
25-Jun-08	0.75	0.75	0.74	0.74	0.745	54.575	0.730	465.52
26-Jun-08	0.75	0.74	0.73	0.73	0.7375	52.91	0.723	556.14
27-Jun-08	0.72	0.72	0.71	0.71	0.715	52.17	0.701	528.36
28-Jun-08	0.71	0.71	0.7	0.7	0.705	51.43	0.692	516.19
29-Jun-08	0.7	0.7	0.69	0.69	0.695	49.395	0.682	504.13
30-Jun-08	0.68	0.67	0.66	0.66	0.6675	48.285	0.656	471.56
01-Jul-08	0.66	0.66	0.65	0.64	0.6525	47.175	0.641	454.15
02-Jul-08	0.64	0.64	0.64	0.63	0.6375	47.175	0.627	437.00
03-Jul-08	0.64	0.64	0.63	0.63	0.635	46.99	0.624	434.16
04-Jul-08	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	46.62	0.619	428.52
05-Jul-08	0.62	0.61	0.6	0.6	0.6075	44.955	0.598	403.48

06-Jul-08	0.59	0.59	0.58	0.58	0.585	43.29	0.576	379.03
-----------	------	------	------	------	-------	-------	-------	--------

## FIGURAS FOTOGRÁFICAS



Figura 2: Vista general del muro fallado Coord UTM: 17M 818796 y 9174097



Figura 3: Falla del muro en la parte central Coord UTM: 17M 818796 y 9174097



Figura 4: Toma de muestras de sólidos del cauce del río Crisnejas



Figura 5: Socavación en la cimentación de la parte inicial del muro de encause



Figura 6: Socavación en la cimentación de la zona media del muro de encause



Figura 7: Canal de pendiente variable del laboratorio para el modelaje.



Figura 8: Calibración del caudal modelado para el ensayo hidráulico de laboratorio.



Figura 9: Conformación del cauce modelado para el ensayo.



Figura 10: Colocación de soporte para desarenación a la salida del flujo en el modelo.



Figura 11: Característica del flujo sobre el cauce modelado (flujo laminar)



Figura 12: Zona socavada en el modelo, por acción del flujo (debajo de línea negra)



Figura 13: Socavación en el proceso de ensayo (debajo de línea negra)



Figura 14: Arrastre del cauce en el modelo, por acción del flujo



Figura 15: Socavación final en el modelo (Espacio entre líneas negras)

