



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

EFEECTO DEL COMPORTAMIENTO DE CAUDALES MÁXIMOS CON FINES DE ENCAUZAMIENTO DE AVENIDAS EN EL SECTOR PUENTE CAREAGA, RÍO CHICAMA 2020

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Roy Gustavo Bazan Siccha  
Jhon Anthony Gavidia Soberon

Asesor:

Mg. Roxana Milagros Aguilar Villena

Trujillo - Perú

2021

## DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo de investigación, en primer lugar, a Jesucristo, nuestro salvador, único mediador entre Dios y los hombres, ya que él es nuestra fuente de fe y sabemos que tiene planes de bien para con nosotros. A nuestros padres por su gran esfuerzo y sacrificio que nos brindan día a día y a nuestros hermanos que nos brindan su apoyo y consejos para no darnos por vencidos a pesar de las adversidades.

## **AGRADECIMIENTO**

Este importante proyecto de investigación se ha realizado gracias a la voluntad de nuestro señor divino que nos da salud. Por esto, también agradecer a nuestros docente por estar siempre pendiente de nuestras dudas con respecto a nuestro trabajo, también a nuestra asesora Ing Roxana Aguilar que nos apoyó con la información requerida y a la vez fue nuestra guía para generar nuevas ideas dentro del trabajo de investigación, sobre todo por complementar con sus conocimientos en las cosas que nos dificultaban y por consiguiente agradecemos a nuestros padres que en todo momento están con nosotros brindándonos todo su apoyo que es esencial para combatir esta dura etapa de nuestras vidas, por confiar siempre en nosotros.

## Tabla de contenido

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>8</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
1.2. Antecedentes .....	11
1.3. Definiciones Conceptuales.....	17
1.4. Formulación del problema .....	22
1.5. Objetivos.....	22
1.5.1. <i>Objetivo general</i> .....	22
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	22
1.6. Hipótesis .....	22
1.6.1. <i>Hipótesis general</i> .....	22
1.6.2. <i>Hipótesis específicas</i> .....	23
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>24</b>
2.1. Tipo de investigación.....	24
2.2. Población y muestra.....	24
2.3. Instrumentos de recolección y análisis de datos.....	25
2.3.1. <i>Registro de Caudales Máximos anuales</i> .....	25
2.3.2. <i>Registro de Mecánica de Suelos.</i> .....	26
2.4. Procesos y Técnicas .....	28
2.4.1. <i>Estudio Hidrológico</i> .....	28
2.4.2. <i>Recopilación de Información Geográfica con ArcGIS</i> .....	28
2.4.3. <i>Estudio del Suelo</i> .....	31
2.4.4. <i>Modelamiento en HEC-Ras</i> .....	32
2.4.5. <i>Propuesta de protección con River</i> .....	36
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>43</b>
3.1. Área de Estudio .....	43
3.2. Características del Suelo .....	44
3.3. Caudal de Diseño .....	44
3.4. Simulación Hidráulica en HEC-Ras.....	45
3.4.1. <i>Coefficiente de Manning.</i> .....	45
3.4.2. Elevación Hidráulica.....	46
3.5. Propuesta de defensa con Diques longitudinales en River .....	49

---

3.5.1.	<i>Cálculo de ancho estable del cauce</i> .....	49
3.5.2.	<i>Socavación general con River</i> .....	50
3.5.3.	<i>Dimensionamiento de diques</i> .....	50
3.5.4.	<i>Diámetro de piedra en Enrocado</i> .....	51
3.5.5.	<i>Propuesta aguas arriba del puente.</i> .....	52
3.6.	Propuesta de defensa con Espigones en River .....	54
3.6.1.	<i>Dimensionamiento</i> .....	54
3.6.2.	<i>Socavación Local en espigones</i> .....	55
3.6.3.	<i>Propuesta</i> .....	55
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b> .....		<b>57</b>
<b>Referencias</b> .....		<b>60</b>
<b>ANEXOS:</b> .....		<b>63</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Registros tomados por las estaciones hidrométricas Tambo y Salinar de Caudales Máximos en el Río Chicama (1969-2018) - SENAMHI</i> .....	26
Tabla 2. Caudal de diseño por el método estadístico para cada periodo de retorno “T” calculado con el software Hidroesta 2.....	44
Tabla 3. Coeficiente de Manning del margen central .....	45
Tabla 4. Coeficiente de Manning de los márgenes de inundación .....	45
Tabla 5. Llanura de inundación calculado con Hec- Ras .....	46
Tabla 6. Ancho estable promedio en “metros”, calculado por medio de los 5 métodos que proporciona el software River. ....	49
Tabla 7. Socavación general del cauce para tramo recto y curvo en River.....	50
Tabla 8. Dimensiones de diques longitudinales en un tramo RECTO para periodos de 10, 25 y 50 años con el software River .....	51
Tabla 9. Dimensiones de diques longitudinales en un tramo CURVO para periodos de 10, 25 y 50 años con el software River .....	51
Tabla 10. Diámetro medio de roca en el enrocado seleccionado para tramos rectos en el cauce con River.....	52
Tabla 11. Diámetro medio de roca en el enrocado seleccionado para tramos curvos en el cauce con River.....	52
Tabla 12. Dimensiones de espigones enrocados para cada periodo de retorno.....	54
Tabla 13. Separación de espigones en River .....	54
Tabla 14. Socavación local de los espigones en River.....	55
Tabla 15. Diámetro medio de piedra con River .....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Análisis mecánico por tamizado del laboratorio INGEOMA .....	27
Figura 2. Descarga de un archivo DEM de la página web “Alaska Satellite Facility estación” .....	29
Figura 3. Herramienta “contour” para generar curvas de nivel con un archivo DEM en ArcGIS .....	30
Figura 4. Herramienta “Create TIN” para generar un TIN con curvas de nivel en ArcGIS .....	30
Figura 5. Herramienta “TIN to Raster” para transformar un TIN en un TIFF con ArcGIS .....	31
Figura 6. Barra de Herramienta de Hec-Ras .....	32
Figura 7. Proyección de la zona de proyecto en HEC-Ras .....	32
Figura 8. Superficie de terreno en Hec-Ras .....	33
Figura 9. Imagen Satelital Web Google Hybrid .....	33
Figura 10. Trazo de geometría para el modelo en HEC-Ras .....	34
Figura 11. Dibujo de las secciones Transversales en HEC-Ras .....	34
Figura 12. Coeficiente de Manning en HEC-Ras .....	35
Figura 13. Condiciones de contorno en HEC-Ras .....	35
Figura 14. Ancho estable: Recomendación práctica .....	36
Figura 15. Método de Simons y Henderson. Fuente: software RIVER .....	37
Figura 16. Método de Blench y Altunin. Fuente: software RIVER .....	37
Figura 17. Método de Manning y Strickler. Fuente: software RIVER .....	38
Figura 18. Cálculo de sección teórica del cauce. Fuente: Elaboración Propia .....	38
Figura 19. Sección dimensiones del dique .....	39
Figura 20. Sección de socavación general. Fuente: software RIVER .....	40
Figura 21. Método de Maynard. Fuente: software RIVER .....	40
Figura 22. Método de Isbash. Fuente: software RIVER .....	41
Figura 23. Cálculo de socavación y distanciamiento .....	42
Figura 24. Proyección de Secciones transversales sobre un formato de superficie TIFF y una imagen Satelital en HEC-Ras: Ras- Mapper .....	43
Figura 25. Análisis de inundación para un periodo de retorno de 50 años, modelado mediante Hec-Ras .....	46
Figura 26. Sección trasversal del cauce progresiva 0+000 para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años .....	47
Figura 27. Sección trasversal del cauce progresiva 0+880 para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años .....	47
Figura 28. Sección trasversal del cauce progresiva 1+300 para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años .....	48
Figura 29. Sección trasversal del cauce progresiva 1+780 para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años .....	48
Figura 30. Dimensionamiento de dique enrocado en tramo RECTO proyectado sobre ambos márgenes del cauce en las progresivas 1+300 – 2+340 para un periodo de retorno de 50 años con el software River .....	52
Figura 31. Dimensionamiento de dique enrocado en tramo curvo proyectado sobre ambos márgenes del cauce en las progresivas 1+300 – 2+340 para un periodo de retorno de 50 años con el software River .....	53
Figura 32. Dimensionamiento de espigón vista de perfil proyectado para un periodo de retorno de 50 años por medio del software River .....	55

## ÍNDICE DE ECUACIONES

(1) Riesgo Admisible y Periodo de retorno .....	18
(2) Caudales por el metodo de Gumbel .....	19
(3) Derivación estandar de los caudales por Gumbel .....	19
(4) Caudales por método de Nash .....	19
(5) Calculo de Socavación General en suelos granulares .....	20
(6) Calculo de Socavación General en suelos granulares .....	20
(7) Método de Maynard .....	21
(8) Método de Maynard .....	21
(9) Método del U.S. Department of transportation .....	22
(10) Método del U.S. Department of transportation .....	22
(11) Método de Petits .....	36

## RESUMEN

En la presente investigación se determina el efecto de encauzar avenidas, considerando el comportamiento de los caudales máximos producidos sobre el río Chicama en el fenómeno del Niño Costero ocurrido en los años de 1998 y 2017, en el cual para esta investigación se considera un modelo hidráulico que utiliza la fórmula de Manning propuesto por el Software Hec-ras para un tramo de 2000 metros de muestra abarcando aguas abajo y aguas arriba del puente Careaga. Asimismo, para la protección del cauce se determinó el diseño de la defensa ribereña sobre la morfología del cauce, con el software River se hizo el dimensionamiento de las defensas ribereñas enrocadas, con lo que se definió lo siguiente: espigones al margen derecho e izquierdo del cauce para el tramo ubicado aguas arriba del puente, debido a su funcionalidad con respecto a las socavaciones en ambos extremos de la estructura y que ayudan a transportar cantidades de sedimento considerables por lo que estarían aptos para la eliminación de islas de material colmatado en el centro del cauce teniendo en cuenta que la uña de cimentación no debe ser mayor al valor de altura de socavación general, y diques enrocados en ambos márgenes aguas abajo, que a su vez darán cierta forma al cauce del río para que el curso de las avenidas sea menos caudaloso y agresivo en los márgenes, todo esto referenciado al Puente Careaga, debido a efectos del desgaste y/o erosión causado.

**Palabras clave:** Caudal de diseño, morfología, socavación, defensa ribereña

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Hoy en día, como consecuencia del cambio climático, es frecuente alrededor del mundo la ocurrencia de fenómenos que afectan la hidrografía de las cuencas, los constantes cambios de la morfología provocado por la erosión y la sedimentación afectan la intensidad con la que impactan los caudales en las obras de encauzamiento de avenidas.

En la Región de Murcia, España, ya ha presenciado grandes inundaciones registradas desde el siglo XIII hasta la actualidad, debido a los grandes volúmenes de agua que provocan graves daños a los márgenes del río y a las infraestructuras de la zona, como medidas preventivas se diseñan infraestructura hidráulica que, modificando el régimen natural, o las condiciones de desagüe del cauce, permiten reducir el riesgo de inundación o aminorar los caudales de la misma, entre ellas están los gaviones, los embalses y muros de encauzamientos.

En el Perú se ha vuelto un problema constante debido a la estacionalidad de las precipitaciones de la Región Andina, se cuenta con un territorio nacional correspondiente al 5% de las aguas dulces del planeta, lo cual lo vuelve un país más vulnerable a las lluvias torrenciales. Debido a la manifestación de fenómenos como el del niño costero, la vulnerabilidad trajo consigo el desborde de varios cauces, como el del Huaycoloro, que generan grandes daños en viviendas, áreas de cultivos y vías de comunicación debido al incremento del caudal y su modificación morfológica, para ello es que se están realizando trabajos de descolmatación y excavación del cauce del río a fin de prevenir futuro desbordes al aumentar la capacidad de flujo (Diario Perú21, 2017).

La cuenca del Río Chicama 2.00 kilómetros aguas arriba y abajo del puente Careaga (ubicado en la provincia de Ascope- La Libertad) presenta cambios de la morfología del lecho provocado por la erosión y la sedimentación, su escasa defensa ribereña son ineficientes para la prevención de las caudales máximos del río para diferentes periodos de retorno, pues a consecuencias de las intensas lluvias el río puede volver a desbordarse como en los eventos del 2017, provocando inundación y deterioro de las defensas rivereñas, es por ello se realiza un estudio de los caudales máximos con el fin de laminar el cauce del río, con la finalidad principal de retener sedimentos y controlar puntas de avenidas , estabilizar laderas y reducir la capacidad erosiva para evitar posibles inundaciones en la zona de estudio.(Diario el Comercio, 2018)

## **1.2. Antecedentes.**

### **Antecedentes Internacionales**

Según Romero (2018) en su tesis Obra de protección para evitar desbordamiento del cauce previniendo daños agrícolas en el sitio la Hacienda Calichana, “este muro beneficiara a la Hacienda Calichana y sus vecinas proporcionándole seguridad a los cultivos, evitando la destrucción que producen las inundaciones. Esto beneficiara directamente a la población de la zona que trabaja en labores agrícolas en las haciendas localizadas al margen derecho del rio Buenavista y a los moradores de parroquia Buenavista. Se definieron dos tipos de muros contención a hormigón y a gaviones para lo cual se realizaron los cálculos por medio Microsoft Excel, donde se verificaron la estabilidad y los factores de seguridad. Los muros de gaviones proporcionan muchas ventajas en cuanto a su diseño y construcción por las facilidades de adaptar su geometría a las condiciones del terreno y parámetros hidráulicos, lo que hace de estos los más recomendables para este proyecto. La permeabilidad de los gaviones no

provoca altos empujes de presiones detrás del muro por lo cual no se requiere de drenajes sobre el suelo natural y en caso contrario se debe colocar entre el suelo natural y la estructura”.

Según Corral & Farías (2009) en el artículo Criterios fluvio-morfológicos aplicados al diseño de obras de encauzamiento de ríos. Caso del Río Salí (Tucumán, Argentina), “el objetivo del presente es un estudio fluvial del Río Salí, considerando tanto los aspectos hidrológicos e hidráulicos como así también, los morfológicos y sedimentológicos, los cuales comprenden la caracterización morfológica del tramo, la revisión de los antecedentes hidrológicos para la determinación de un caudal formativo, la determinación de las propiedades de los sedimentos y la definición de los criterios y dimensiones estables para la obra de canalización propuesta. Para el diseño de la canalización se han considerado las propiedades de los sedimentos del lecho y su posibilidad de acorazamiento, utilizando el método de Gessler (1967). Con este método se obtuvo una granulometría para la coraza que ha sido verificada en campo con un análisis visual de la exhibida en el cauce. A partir de la aplicación de una serie de formulaciones disponibles en la literatura se han determinado los parámetros de diseño para el encauzamiento. En resumen, es recomendable establecer dos niveles en el perfil transversal, uno para aguas bajas y altas y otro para las avenidas”.

Según Campos (2014) en su artículo Obtención de ecuaciones empíricas para la estimación de crecientes de diseño en la Región Hidrológica Núm. 10 (Sinaloa) de México, “se procesaron 23 registros de gastos máximos anuales, con amplitudes que oscilan entre los 19 y 56 años, con 36 años como valor medio. Se desarrollaron cuatro tipos de ecuaciones empíricas, cada una para seis periodos de retorno y todas se generaron con dos métodos básicos de ajuste, los mínimos cuadrados de los residuos

en el dominio logarítmico y la optimización numérica multivariada no restringida, aplicada a través del algoritmo de Rosenbrock. Como las ecuaciones obtenidas por mínimos cuadrados fueron corregidas por sesgo, se generó un total de 72 ecuaciones empíricas, de entre las cuales se seleccionaron 36, por tener sus mejores indicadores de desempeño, éstas se probaron en seis estaciones hidrométricas no utilizadas en su deducción y en seis de las procesadas, las de registro amplio. Las conclusiones formuladas destacan la regularidad de las predicciones estimadas y sugieren el desarrollo de este tipo de modelos empíricos en otras regiones del país con base en los tres planteamientos de ajuste seguidos. Tales ecuaciones empíricas permitirán estimar fácilmente las crecientes de diseño en otras zonas geográficas del país”.

### **Antecedentes Regionales**

Según Ushiña & Rojas (2014) en la tesis Bases de diseño hidráulico para los encauzamientos o canalizaciones de ríos, “al lado de los objetivos que se persiguen mediante un encauzamiento hay que colocar los efectos que se siguen de estas intervenciones. Para entender los efectos hay que comprender que los ríos son sistemas dinámicos, es decir, en ellos se producen cambios o modificaciones, generalmente a medio y largo plazo, como consecuencia de las acciones exteriores. Los cambios son posibles porque los contornos aluviales no son fijos sino móviles tanto en sentido vertical (como de fondo) como horizontal (cambio de planta). Funcionalmente, un cauce o encauzamiento es la vía de circulación de un caudal de agua, acompañado de material sólido. Cuando este último no circula “en equilibrio” tienen lugar sedimentaciones o erosiones que van produciendo los cambios del contorno. Por esta razón se puede decirse que el transporte sólido es el vehículo de los cambios fluviales, o bien que el ritmo de los cambios es función de la cantidad de material que transporta

el río. Los cambios son reajustes hacia un nuevo equilibrio como refleja la analogía de la balanza. Algunas acciones exteriores antrópicas influyentes en el equilibrio de los ríos, más allá de la ingeniería fluvial, son por ejemplo las presas y la deforestación de las cuencas”.

Según Gyssels (2014) en su tesis doctoral Optimización y diseño de estructuras de defensa costera de enrocado en el litoral argentino, “se ha evaluado y optimizado un diseño de protección de un tramo de costa en erosión en el litoral argentino (Mar del Plata) mediante el uso de un sistema de diques exentos semisumergidos (o de baja cota de coronación), LCS. Se han tenido en cuenta las características de la obra, del entorno urbano y del uso requerido para las playas a regenerar y proteger. Se ha estudiado la funcionalidad de las obras de defensa costera a dos escala de tiempo: a corto plazo (escala de horas, de la duración de una tormenta) y a largo plazo (escala de meses y años hacía el equilibrio). La verificación de la obra propuesta en el diseño del anteproyecto existente ha evidenciado el alto riesgo de formación de salientes de grandes dimensiones, que podrían causar una fuerte interrupción del transporte litoral, e impactos erosivos significativos en las playas ubicadas más al norte. Por lo tanto, se ha estimado necesario mejorar la configuración propuesta originalmente. La metodología constructiva prevista para la materialización de la obra se basa en el aporte de la roca desde tierra, a través de espigones de avance”.

Según Párraga (2015) en su tesis Estudio de la Factibilidad para el Encausamiento con Enrocado para proteger el puente ubicado sobre el Río Congo en el Recinto “La Carlota” del Cantón Balzar, “el alcance de la tesis se basa en el estudio de la factibilidad del encauzamiento del río, junto a las márgenes del puente, con el fin de brindar seguridad en su uso y protección, utilizando como herramienta los modelos numéricos que se consideran actos para la solución del problema. El principal objetivo

que debemos tener en cuenta al momento de decidir que estructura se utiliza para la estabilización o contención de muros de 100 tierra o taludes es el resistir las fuerzas ejercidas por la tierra contenida, y transmitir esas fuerzas en forma segura a la cimentación o a un punto por fuera de la masa de suelo analizada de movimiento. En el caso de un deslizamiento de tierra el muro ejerce una fuerza para contener la masa inestable y transmite esa fuerza hacia una cimentación o zona de anclaje por fuera de la masa susceptible de moverse. Las deformaciones o movimientos de la estructura de contención o del suelo a su alrededor deben evitarse en lo más mínimo para garantizar su estabilidad”.

### **Antecedentes Locales**

Según Otiniano & Cielo (2016) en la tesis Diseño hidráulico y estructural de la defensa ribereña del río Nepeña, Sector Puente Huambacho – Distrito de Nepeña – Santa – Ancash, “se recomienda usar el software Hec-Ras 4.1.0, para el modelamiento de cauces naturales, porque constituye una herramienta muy útil para modelar los ríos y encontrar sus respectivas áreas de inundación así mismo nos proporciona parámetros confiables para poder diseñar nuestros diques y encontrar su respectiva ubicación y longitud. - Para mantener los niveles de corona de los Diques proyectados, se deberá tener en cuenta la descolmatación del cauce del río Nepeña en la zona de influencia de estos, principalmente después de cada año hidrológico clasificado como húmedo. Esta recomendación es principalmente para los tramos donde se encuentran proyectados los Diques. - Para niveles posteriores de estudio los ejes de los diques proyectados deberán ser replanteados en campo, antes de dar un dimensionamiento definitivo; asimismo de presentarse años hidrológicos clasificados como húmedos, antes de la construcción de

los diques proyectados, realizar una nueva evaluación, para verificar sus dimensiones principales”.

Según Fernández (2018) en su tesis Inestabilidad de la margen derecha del Río Rimac e implementación de taludes con enrocado, Urbanización Perú - San Martín de Porres, “con este estudio de investigación sobre la inestabilidad del talud con propuesta de implementación con enrocado. El incremento del caudal del río, que se produce en los meses de verano, genera inestabilidad del talud en la margen derecha del río Rímac; por lo que la mejor alternativa de solución es mediante la implementación con el enrocado. La inestabilidad de talud en la margen derecha del río determina altos riesgos y que mediante la implementación con enrocado se reduciría en gran medida estos riesgos, determinando menos zozobra; reduciendo costos sociales y económicos a la población de la zona. Las causas principales que provocan la inestabilidad del talud en la margen derecha de río, son el incremento del caudal del río y la socavación del cauce. El periodo de retorno más óptimo y viable para la implementación del enrocado en la margen derecha del Río Rímac es de 100 años, pues, este periodo de retorno se utiliza para mostrar la probabilidad de que se presente el caudal máximo y mínimo del periodo mencionado, dando un factor de seguridad viable en el diseño del enrocado”.

Según Álvaro & Henríquez (2014) en su tesis Diseño hidráulico y estructural de defensa ribereña del río Chicama tramo puente punta moreno – Pampas de Jagüey aplicando el programa RIVER, “se pretende dar una propuesta con el diseño de defensa ribereña del río Chicama en el tramo punta moreno, pampas de jagüey de acuerdo a los estudios básicos de ingeniería que se deben realizar y las metodologías existentes para estos diseños aplicando el programa RIVER. Para poder realizar un dimensionamiento de defensas ribereñas, primero se debe realizar un estudio

hidrológico para poder analizar el caudal y posteriormente la altura del pelo del agua y a que distancia se debe construir la protección, ya que son elementos básicos para la determinación de las dimensiones. Al reducir o eliminar las inundaciones, existe el potencial de empobrecer la agricultura de los terrenos aluviales (recesión), su vegetación natural, las poblaciones de fauna y ganado y, la pesca del río y de la zona aluvial, que se han adaptado a los ciclos naturales de inundación. En el desarrollo de del informe hidrológico se ha tomado en cuenta la información hidrométrica correspondiente a la estación de aforo denominado SALINAR – EL TAMBO. El periodo que se consideró para el análisis estadístico de datos es de 1971 – 2010. Se utilizó el Programa RIVER para encontrar el caudal de diseño, empleando el Método Estadístico; una vez ingresados los datos, finalmente se tendrá el cálculo de caudales mediante los tres modelos probabilísticos. Del cual se concluye que Pearson III es el más apropiado según el Programa RIVER, el caudal es de 1,134.84 m<sup>3</sup>/seg.”.

### **1.3. Definiciones Conceptuales**

#### **a) Estadística de datos Hidrológicos**

Los estudios hidrológicos utilizan datos del medio atmosférico y el agua proporcionada por estaciones Hidrométricas y Meteorológicas, estos registros proporcionan datos de caudales, precipitación, tiempo, temperatura y clima para el estudio de probabilidad de ocurrencia en cierta cantidad de años.

Con el tiempo los procedimientos hidrológicos cambian parcialmente de una forma predecible se conoce como estadística de caudales y precipitaciones. Este tipo de análisis estadísticos tiene como objetivo determinar la probabilidad de ocurrencia de las magnitudes de la precipitación o caudales de acuerdo a un determinado periodo de retorno según las normativas aplicando modelos de probabilidad. (Manual de

Hidrología, Hidráulica y Drenaje, 2014, pp. 13 y 25).

## b) Estimación de Caudales

La recopilación de datos históricos de caudales y los eventos que afecten dentro del cambio climático deben de conocerse por medio de un registro en un periodo de tiempo determinado, el cual permite conocer o estimar la máxima avenida probable, conociendo la data por medio de un modelo hidrológico aplicando diferentes métodos de estimación. (Terán, 1998, pp. 26).

El problema se origina en que existen muchos tipos de distribuciones que se adaptan a los datos y, sin embargo, difieren en los extremos. Esto ha dado lugar a diversos métodos estadísticos, entre los cuales se tiene a Gumbel y Nash. Estos métodos consideran una distribución de valores extremos, con la única diferencia, que el criterio de Nash es menos rígido o riguroso que el de Gumbel, puesto que el método de Nash permite ajustar la distribución por mínimos cuadrados.

### b.1) Periodo de retorno

El diseño de toda obra relacionada con las defensas ribereñas, para el cálculo de fallas admisibles ante el posible riesgo, es necesario contar con las probabilidades, realizar el estudio de valores pico de creciente que se supera una vez cada “T” años, al cual se le llama periodo de retorno “T”. Por lo cual es necesario optar por la relación de vida útil de la estructura vs el riesgo admisible. (Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, 2014, pp. 16).

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

$R$  : Riesgo admisible en %

$n$  : Vida útil de las obras en años

## b.2) Caudales por Método de Gumbel

Para calcular el caudal máximo para un período de retorno determinado se usa la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{máx}} = Q_m - \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} (\bar{Y}_N - \ln T) \quad (2)$$

Derivación estándar de los caudales por Gumbel:

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Q_i^2 - N Q_m^2}{N - 1}} \quad (3)$$

$Q_{\text{max}}$  : caudal máximo para un período de retorno determinado, en  $m^3/s$

$N$  : número de años de registro

$Q_i$  : caudales máximos anuales registrados en  $m^3/s$

$T$  : periodo de retorno

$\sigma_N, Y_N$  : constantes función de  $N$  (variables reducidas)

## b.3) Caudales por Método de Nash

Nash considera que el valor del caudal para un determinado período de retorno se puede calcular con la ecuación:

$$Q_{\text{máx}} = a + b \log \log \frac{T}{T - 1} \quad (4)$$

$Q_{\text{max}}$  : caudal máximo para un período de retorno determinado, en  $m^3/s$

$a, b$  : número de años de registro

$T$  : periodo de retorno en años

### c) Cálculo de socavación general en suelos Granulares

El cálculo de socavaciones general se puede determinar Según Lischtván-Levediev (Maza, 1967) con las siguientes expresiones que utiliza el programa River.

$$y_s = \left[ \frac{\alpha \cdot y^{5/3}}{0.68 D_m^{0.28} \cdot \beta \cdot \psi} \right]^{\frac{1}{1+Z}} \quad (5)$$

donde:

$$\alpha = \frac{Q_d}{(H_m)^{5/3} \cdot B_e \cdot \mu} \quad (6)$$

$y_s$  = Desnivel ente la superficie del agua, al pasar la avenida y el fondo erosionado.

$H_o$  = Desnivel entre la superficie del agua, al pasar la avenida, y el nivel del fondo original (medido antes de la avenida).

$y_s, y_o$  = Se miden en cada sección vertical donde se desea hacer el cálculo.

$Y_m$  = Tirante medio medido entre la superficie del agua al pasar la avenida y el fondo original. Se obtiene de dividir el área hidráulica entre el ancho de la superficie libre ( $B_e$ ).

$W_e$  = Ancho libre de la superficie al presentarse la avenida.

$Q_d$  = Gasto del diseño.

$D_m$  = Diámetro medio, si el material del fondo es friccionante.

$\gamma_s$  = Peso volumétrico seco, si el material es cohesivo.

$x, y$  = Exponentes en función de  $D_m$  o  $\gamma_s$  según el tipo de material del fondo

$\psi$  = Coeficiente que depende de la concentración del material transportado en suspensión

$\beta$  = Coeficiente que depende del periodo de retorno del gasto de diseño.

$\mu$  = Coeficiente que depende de la contracción del cauce

#### d) Cálculo de diámetro de piedra en enrocado

##### d.1) Método de Maynard

Según Maynard este método propone el diámetro de enrocado a utilizar en la protección de la ribera

$$d_{50} = C_1(yF^3) \quad (7)$$

$$F = C_2\left(\frac{V}{\sqrt{gy}}\right) \quad (8)$$

Donde:

$d_{50}$ : Diámetro medio de las rocas

$y$ : Profundidad de flujo

$V$ : Velocidad media de flujo

$F$ : Número de Froude

$C_1C_2$ : Coeficientes de corrección

##### d.1) Método de U. S. Department of Transportation

Este método propone el diámetro de enrocado a utilizar en la protección de la ribera

$$d'_{50} = \frac{0.001V^3}{y^{0.5}K_1^{1.5}} \quad (9)$$

Donde:

$$K_1 = \left[ 1 - \left( \frac{\sin \theta^2}{\sin \emptyset^2} \right) \right]^{0.5} \quad (10)$$

#### 1.4. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto del encauzamiento de avenidas en el comportamiento de caudales máximos del Río Chicama, sector Puente Careaga?

#### 1.5. Objetivos

##### 1.5.1. Objetivo general

Determinar el efecto que tiene el encauzamiento de avenidas en el comportamiento de caudales máximos en el Río Chicama, sector Puente Careaga.

##### 1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar los caudales de diseño para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años.
- Analizar el comportamiento de los caudales máximos sobre la morfología del cauce mediante un modelo hidráulico utilizando el software Hec-Ras.
- Determinar el diseño de defensas ribereñas mediante el software River para la protección frente a los desgastes de laderas que provocan los caudales máximos,

#### 1.6. Hipótesis

##### 1.6.1. Hipótesis general

H<sub>1</sub>: Si existe un efecto significativo en el comportamiento de caudales máximos frente al encauzamiento de avenidas.

$H_0$ : No existe un efecto significativo en el comportamiento de caudales máximos frente al encauzamiento de avenidas.

### 1.6.2. Hipótesis específicas

I.  $H_1$ : Sí se logró determinar los caudales de diseño para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años.

$H_0$ : Sí se logró determinar los caudales de diseño para periodos de retorno de 50, 75, 100 y 150 años.

II.  $H_1$ : Mediante el software Hec-Ras, sí hay un análisis del comportamiento de los caudales máximos sobre la morfológica del cauce.

$H_0$ : Mediante el software Hec-Ras, no se llegó a un análisis del comportamiento de los caudales máximos sobre la morfología del cauce.

III.  $H_1$ : Sí se obtuvo el diseño de defensa ribereña para la protección frente a los desgastes en laderas que provocan los caudales máximos.

$H_0$ : No se obtuvo el diseño de defensa ribereña para la protección frente a los desgastes en laderas que provocan los caudales máximos.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

Es una investigación de tipo descriptiva porque tiene como objetivo central describir las características de la variable dependiente y de la variable independiente sin manipular variables, y ya que la presente investigación está enfocada a la solución de problemas y al control de situaciones o procesos de la realidad, esta investigación será del tipo aplicada y por la naturaleza de datos, el presente proyecto de investigación es cualitativa, y según su manipulación de variables es de tipo no experimental.

$$O_1 = \text{Pre test}$$

G.E: $O_1 - X - O_2$
G.C: $O_1 \quad O_2$

$$X = \text{Tratamiento}$$

$$O_2 = \text{Post test}$$

### 2.2. Población y muestra

#### **Población.**

La población objetivo del presente estudio estará conformada por la cuenca peruana Río Chicama, la cual se emplaza en la zona Norte del Perú y pertenece en la hoya hidrográfica del Océano Pacífico. Tiene un área hidrográfica de 5822  $[\text{km}]^2$ , de los cuales; 2472  $[\text{km}]^2$  corresponden a la cuenca húmeda o imbrífera (ONER, 1973), con una longitud promedio de Este-Oeste de 80 km. y un ancho de Sur-Norte de 45 km., que comprende un perímetro de 511 km.

Políticamente, el área estudiada forma parte de las provincias de Pacasmayo, Trujillo y Otuzco del departamento de La Libertad y de las provincias de Contumazá y Cotabambas del departamento de Cajamarca.

Geográficamente, la cuenca estudiada Limita, por el Norte, con la cuenca del río Jequetepeque; por el Sur, con las cuencas del río Moche y de la Quebrada del río Seco; por el Sudeste, con la cuenca del río Santa; por el Oeste, con el Océano Pacífico y, por el Este, con la cuenca del río Marañón.

Está conformada por las subcuencas de los andes que dan origen al cauce principal y que conforman parte de la población. Ya que este es el conjunto finito de elementos, que tiene atributos o características comunes, susceptibles a ser observados. (Valderrama Mendoza, 2015 pág. 182).

### **Muestra.**

La muestra para esta investigación es un tramo de 2.5 km de cuenca del Río Chicama ubicada en el sector Puente Careaga aguas arriba y aguas abajo pertenecientes al departamento de La Libertad.

La muestra es seleccionada como un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, tendrá que describirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que esta es representativa de la población. El investigador pretende que los resultados encontrados en la muestra se generalicen o extrapolen a la población. (Hernandez Sampieri, y otros, 2010 pág. 173).

## **2.3. Instrumentos de recolección y análisis de datos**

### **2.3.1. Registro de Caudales Máximos anuales**

Para la recolección de registros de caudales se usó un instrumento de trabajo bibliográfico que utiliza técnicas de investigación documental y la sistematización bibliográfica ya que la base de datos en el instrumento “Registros de caudales del río Chicama”, es una data de estudios publicada por el SENAMHI, proporcionada por las

estaciones hidrométricas de este organismo y aprobados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

*Tabla 1. Registros tomados por las estaciones hidrométricas Tambo y Salinar de Caudales Máximos en el Río Chicama (1969-2018) - SENAMHI*

<b>ESTUDIO: REGISTROS DE CAUDALES DEL RÍO CHICAMA</b>					
<b>Información Básica</b>			<b>Estación: Tambo- Salinar</b>		
<b>Año</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Año</b>	<b>Caudal (QX)</b>	<b>Año</b>	<b>Caudal (QX)</b>
1969	152.95	1986	145.26	2003	91.17
1970	73.51	1987	158.69	2004	55.07
1971	437.77	1988	93.81	2005	124.53
1972	505.59	1989	237.98	2006	168.1
1973	607.03	1990	34.39	2007	120.94
1974	180.09	1991	79.53	2008	196.5
1975	481.36	1992	109.2	2009	186.208
1976	235.1	1993	260.96	2010	82.944
1977	357.91	1994	178.32	2011	114.416
1978	32.19	1995	83.33	2012	185.12
1979	239.61	1996	263.71	2013	226.384
1980	15.23	1997	125.75	2014	85.664
1981	302.28	1998	1860.95	2015	298.224
1982	64.58	1999	188.56	2016	112.496
1983	778.46	2000	400.62	2017	647.952
1984	450.84	2001	408.4	2018	86.288
1985	66.59	2002	237.66		

*Fuente: Repositorio Senamhi: Tratamiento de cauce del río para el control de inundaciones en la cuenca Chicama.*

### **2.3.2. Registro de Mecánica de Suelos.**

Para poder determinar cuál es el estado de la mecánica de suelos se utilizaron fichas de trabajo bibliográfico que corresponde a información documental, estos instrumentos, que contienen las características fisiográficas más importantes de la cuenca, fueron realizados por otros investigadores que ya han sido aprobados por el laboratorio de mecánica de suelos INGEOMA validado por el Ing Roberto Carlos Salazar Alcalde con código CIP:101231.

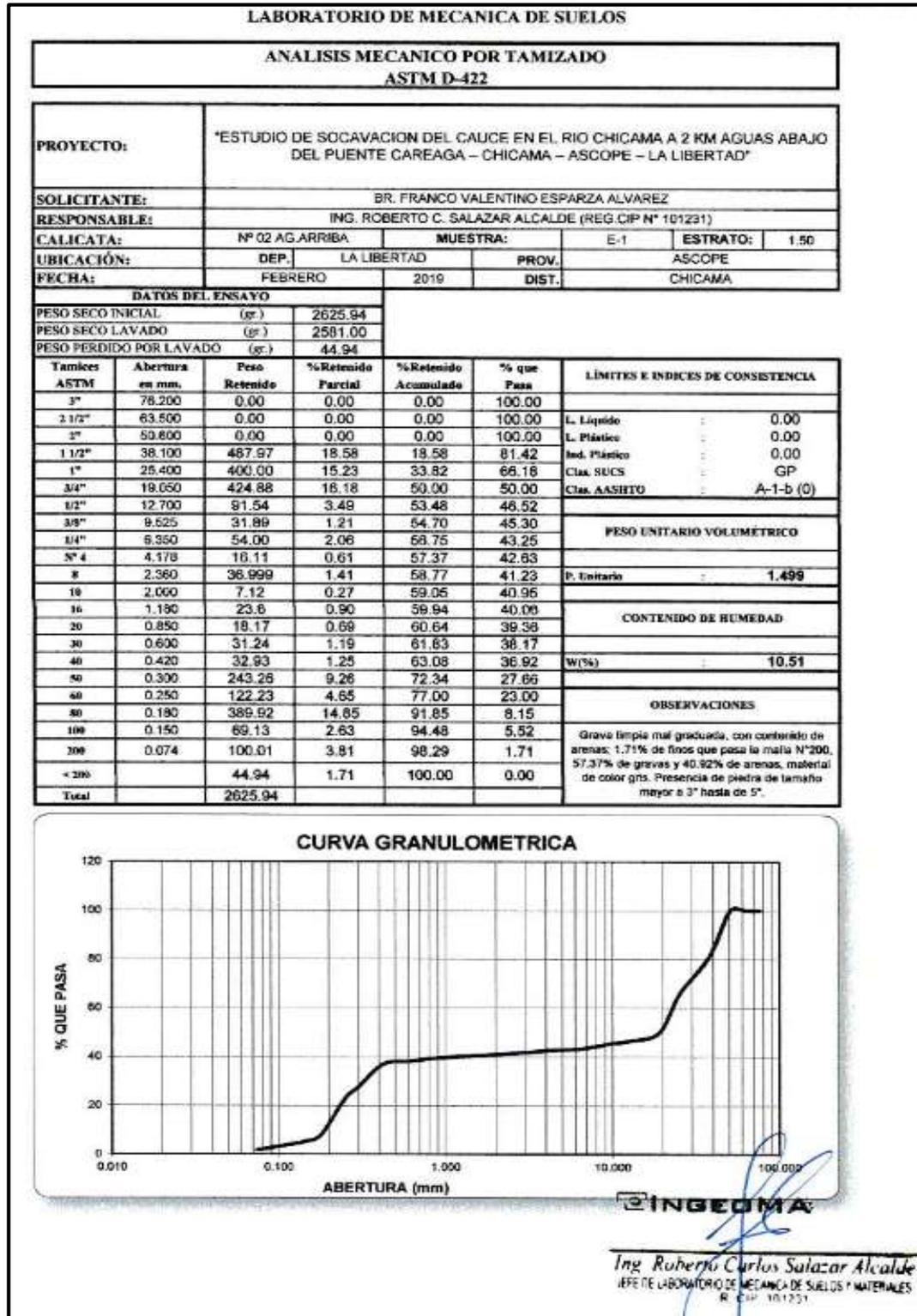


Figura 1. Análisis mecánico por tamizado del laboratorio INGEOMA

Fuente: Tesis de Estudio de socavación del cauce en el río Chicama a 2km aguas abajo del puente Careaga- Chicama- Ascope- La libertad

## **2.4. Procesos y Técnicas**

### **2.4.1. Estudio Hidrológico**

Para poder hallar los caudales de diseño estimados con la Distribución Probabilística de Gumbel y el Método Estadístico propuesto por Nash, mediante el software HIDROESTA 2, se tomó la base de datos con los registros de caudales anuales de los últimos 50 años (entre 1969 y 2018), debido a la recomendación dada por el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, dentro de los cuales están presentes los dos Fenómenos del Niño Costero ocurridos en 1998 y 2017 donde se presentaron volúmenes de agua de 1860.95 m<sup>3</sup> y 647.95 m<sup>3</sup> respectivamente.

Se calcularon los periodos de retorno para el tipo de obra Defensas Ribereñas, los cuales están relacionados con la vida útil de cada obra, y para eso existe la fórmula del riesgo admisible también en función de este periodo de retorno según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (ver Ecuación 1). Es por eso que se seleccionaron los periodos de retorno de 10, 25 y 50 años

### **2.4.2. Recopilación de Información Geográfica con ArcGIS**

#### **2.4.2.1. Descarga de archivo digital DEM**

Para determinar la topografía de la cuenca hidrográfica se utilizó un archivo de Modelo Digital de Elevación (DEM) este puede ejecutarse en diferentes softwares capaces de analizar y producir superficies, se pueden descargar de la página web “Alaska Satellite Facility estación” perteneciente al Instituto Geofísico de la Universidad de Alaska Fairbanks.

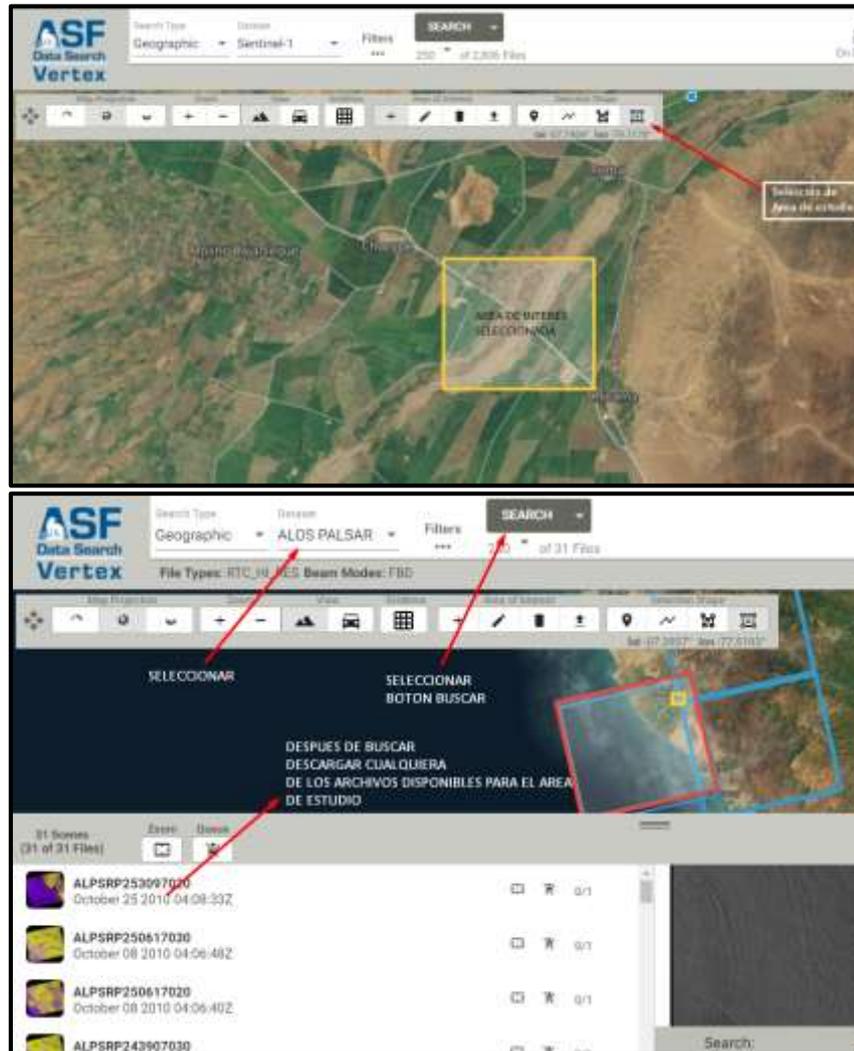


Figura 2. Descarga de un archivo DEM de la página web “Alaska Satellite Facilityestación”

### 2.4.2.2. Creación de superficie con ArcGIS

Antes de importar y procesar el archivo DEM en ArcGIS se deberá configurar el sistema de coordenadas de la hoja de ArcGIS, establecerlo en WGS 1984 ZONA 17 SUR conforme a nuestra zona de estudio e importar el archivo DEM.

Una vez importado el DEM, en la caja de herramientas con dirección ArcToolbox/ 3D Analyst Tools/ Raster Surface/ Contour se desplegará la ventana “contour” para generar curvas de nivel cada 1 m.



Figura 3. Herramienta “contour” para generar curvas de nivel con un archivo DEM en ArcGIS

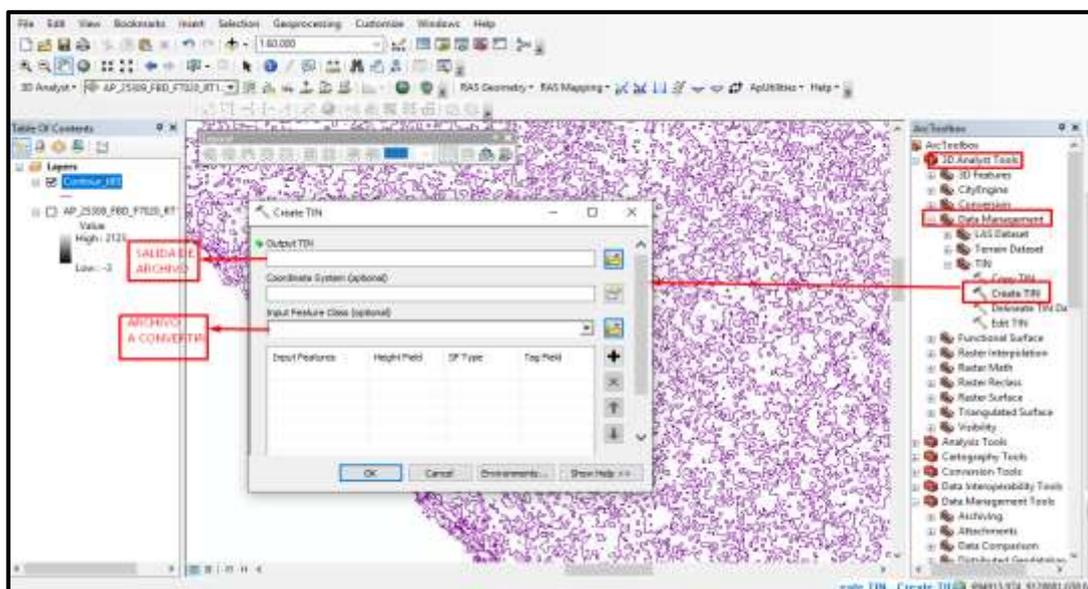


Figura 4. Herramienta “Create TIN” para generar un TIN con curvas de nivel en ArcGIS

Con las curvas ya definidas se procede a generar el archivo TIN, son medios digitales para representar la morfología de la superficie, son un tipo de datos geográficos digitales basadas en vectores construidos al triangular un conjunto de vértices que se generan en este caso en base a las curvas de nivel (figura 4).

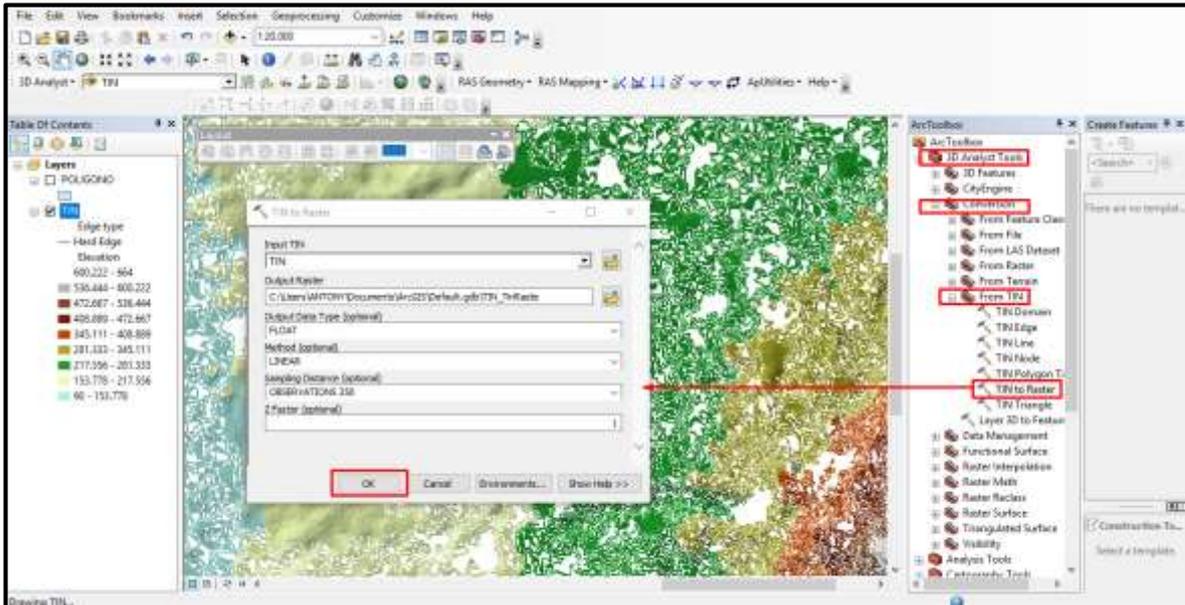


Figura 5. Herramienta “Tin to Raster” para transformar un TIN en un TIFF con ArcGIS

Teniendo el formato TIN se dispone a convertirlo en Archivo TIFF con la herramienta “Tin to Raster” (figura 5), este nuevo mapa se recortará de acuerdo a la zona del proyecto que se pretende analizar en Hec-Ras, es necesario que se convierta en formato TIFF para ser reconocido en la extensión de Hec-Ras: Ras Mapper.

### 2.4.3. Estudio del Suelo

Se utilizó información documental, según el estudio de mecánica de suelos elaborado en la tesis “Estudio de socavación del cauce en el río Chicama a 2km aguas abajo del puente Careaga- Chicama- Ascope- La libertad” el suelo tiene una humedad del 10.51% con un peso unitario seco del 1.70gr/cm<sup>3</sup> y un peso unitario húmedo de 1.76 gr/cm<sup>3</sup>.

Contiene grava limpia mal graduada con contenido de arenas, en parte el 1.71% de finos pasa por la malla N°200, el 57.37% está conformado por gravas y el 40.92% está conformado por arenas, además tiene un color gris.

Según la clasificación SUCS es de tipo GP y según clasificación AASHTO es de un tipo A-1-a(0)

## 2.4.4. Modelamiento en HEC-Ras

### 2.4.4.1. Referenciación de la zona de estudio

Nos dirigimos a Ras Mapper desde la barra de herramientas HEC-Ras:

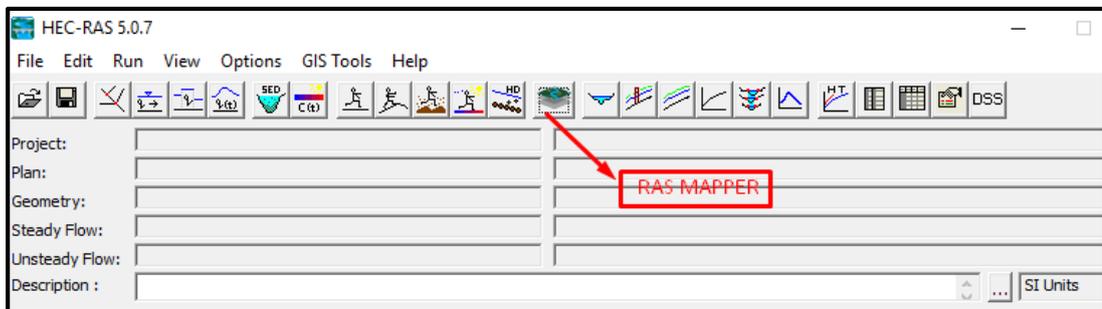


Figura 6. Barra de Herramienta de Hec-Ras

Para referenciar la zona de proyecto (figura 7) nos dirigimos a la barra de herramientas con dirección: Tools /Set Projection for Project, nos bota la ventana de Ras Mapper Options e importamos un archivo PRJ, este es un polígono con información georreferenciada de ArcGIS.

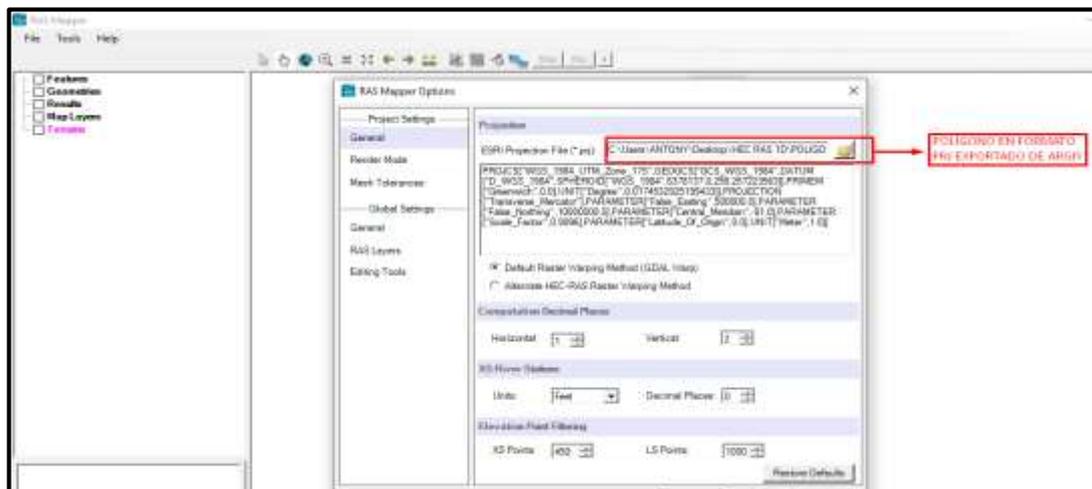


Figura 7. Proyección de la zona de proyecto en HEC-Ras

#### 2.4.4.2. Importación de Terreno en formato TIFF

Se importa la superficie de terreno en formato TIFF por medio de la barra de herramientas: Terrains/ Create a New Ras Terrain y click sobre el símbolo “+” y “créate” que aparecen en la ventana emergente.

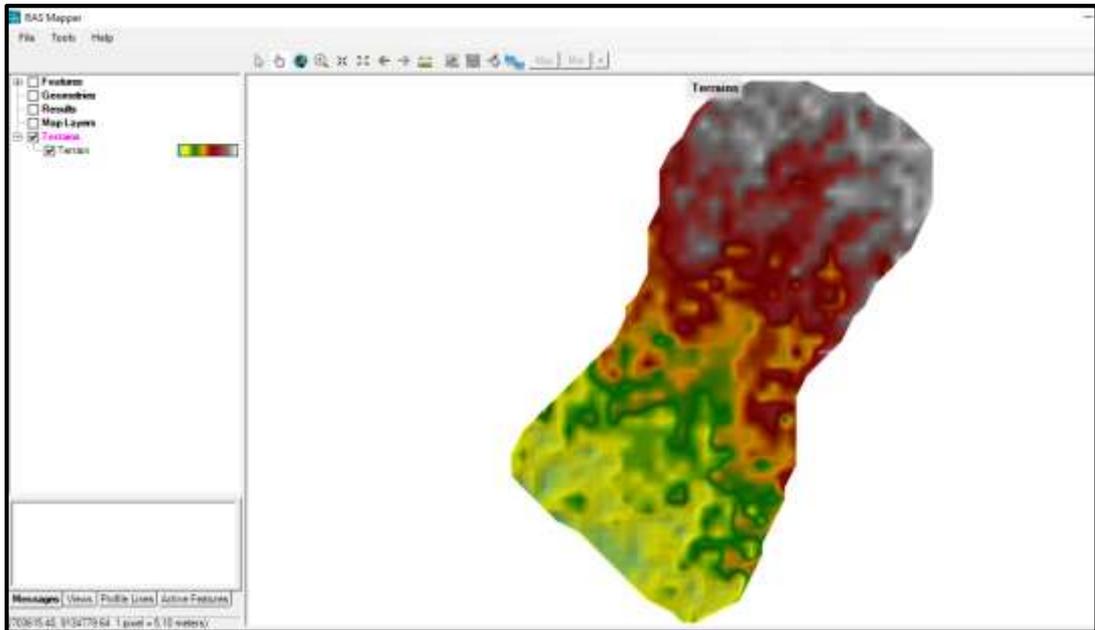


Figura 8. Superficie de terreno en Hec-Ras

Además, se conectó una imagen satelital web con dirección: Map Layers/ Add web Imagery Layer y en la ventana emergente se escogió la opción: Google Hybrid

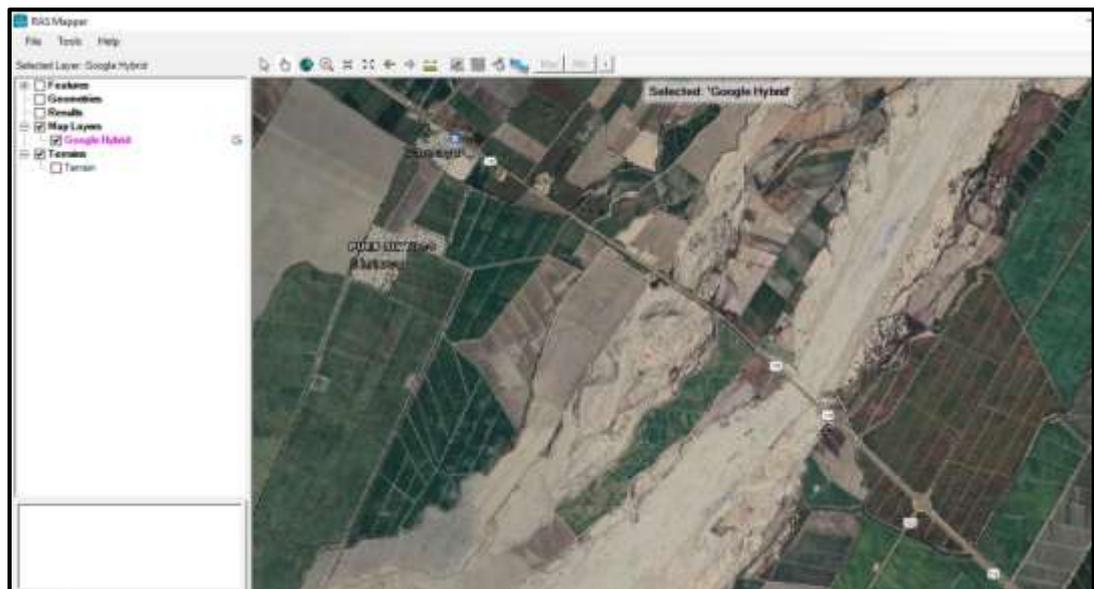


Figura 9. Imagen Satelital Web Google Hybrid

### 2.4.4.3. Diseño de la Geometría del Río

Para diseñar la geometría del modelo, primeramente, se dibuja el eje del río con la herramienta “River” un trazo de 2500m según nuestra muestra, los bordes de inundación se trazan de izquierda a derecha con la herramienta “Bank Lines” en dirección del flujo y por último se traza las rutas de flujo con “Flow Paths”



Figura 10. Trazo de geometría para el modelo en HEC-Ras

Después de dibujar la geometría se dibuja el trazo de las secciones transversales con la herramienta “Generate Cross Sections”, su ventana indica la amplitud de la sección a generar siendo de 800m y su espaciamiento cada 20m para este modelo, esta herramienta se podrá utilizar luego de pulsar anticlick sobre el eje del río.



Figura 11. Dibujo de las secciones Transversales en HEC-Ras

#### 2.4.4.4. Parámetros de Flujo

Salimos de la extensión Ras Mapper e importamos el trabajo en HEC-Ras con la herramienta Geometric Data, agregamos los coeficientes de Manning de 0.05 para ambas orillas y 0.045 para el cauce central por medio de la herramienta con dirección: Tables/ Edit Manning's n or k Values.

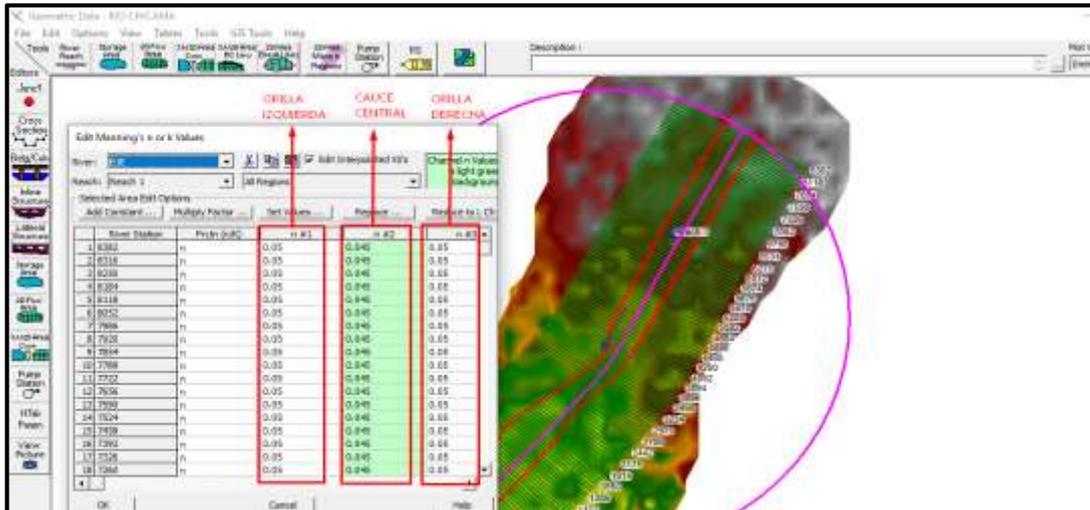


Figura 12. Coeficiente de Manning en HEC-Ras

Como último paso antes de visualizar los resultados del modelo se aplican las condiciones de contorno para un flujo mixto y una pendiente de río de 0.006 con la herramienta “Reach Boundary Conditions” (figura 13) para los periodos de retorno de 842.7, 1068.5 y 1238.9 m<sup>3</sup>/s ingresados en la ventana emergente con dirección: “Steady Flow Data”

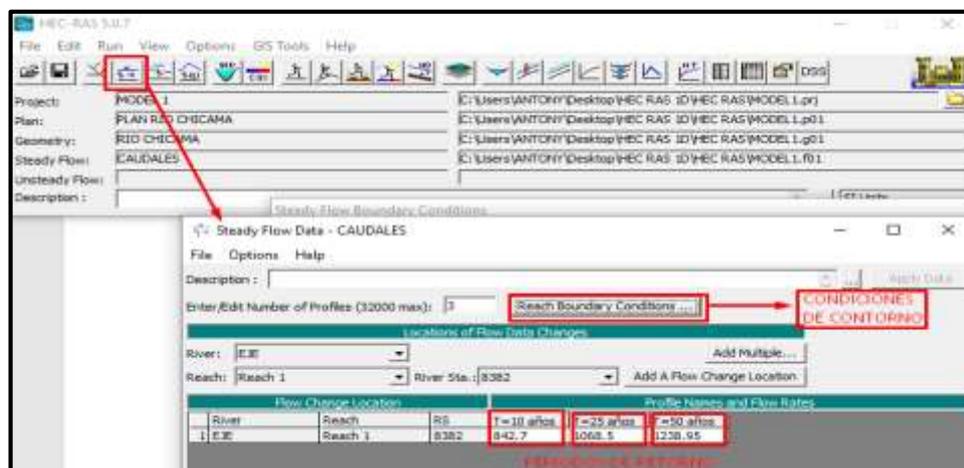


Figura 13. Condiciones de contorno en HEC-Ras

## 2.4.5. Propuesta de protección con River

### 2.4.5.1. Parámetros Generales en River

Se ha trabajado directamente en el software RIVER, y a la par con el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje para la obtención y comprobación de fórmulas. Esta propuesta consistirá en el predimensionamiento de defensas enrocadas como son los Diques y Espigones, para lo cual, este software considera los mismos datos iniciales en ambos casos como lo son: caudal de diseño (Q), periodo de retorno (T) y pendiente del cauce (%); además, puntúa cinco métodos para la estimación de un ancho estable del cauce, éstos son: Recomendación Práctica (ver Figura 14), Método de Petits (ver Ecuación 11), Método de Simons y Henderson, Método de Blench y Altunin y Método de Manning y Strickler.

RECOMENDACIÓN PRACTICA	
Q (M <sup>3</sup> /S)	ANCHO ESTABLE ( B2 )
3000	200
2400	190
1500	120
1000	100
500	70

Figura 14. Ancho estable: Recomendación práctica.

Ecuación Método de Petits:

$$B = 4.44(Q^{0.5}) \quad (11)$$

En alguno de los métodos a emplear para determinar el ancho estable del cauce mencionados anteriormente, se consideró las siguientes características física según la mecánica de suelos:

- **Método de Simons y Henderson:** Se consideró un coeficiente “K1” igual a 2.9 por tratarse de mayor porcentaje de grava que de arenas sobre el cauce (ver Figura 4).
- **Método de Blench y Altunin:** Se consideró un factor de fondo (Fb) de 1.2 por tratarse de material grueso en el cauce con diámetros inferiores a los 50 mm. y un factor de orilla (Fs) de 0.1 por tratarse de material suelto en los márgenes de inundación (ver Figura 5).
- **Método de Manning y Strickler:** Se tiene un coeficiente de rugosidad del cauce del río o coeficiente de Manning (n) de 0.035, un coeficiente “K” de 12 por tratarse de material aluviales transportados o depositados sobre el cauce, y un coeficiente “m” de 0.5 por tratarse de un río con cauce aluvial que contiene materiales transportados y depositados (ver Figura 6).

Metodo de Simons y Henderson

$$B = K_1 Q^{1/2}$$

Fondo y Orillas de Arena ..... K1 = 5.70  
 Fondo Arena y Orillas de Material Cohesivo ..... K1 = 4.20  
 Fondo y Orillas de Material Cohesivo ..... K1 = 3.60  
 Fondo y Orillas del cauce de Grava ..... K1 = 2.90  
 Fondo Arena y Orillas de Material No Cohesivo ..... K1 = 2.80

Figura 15. Método de Simons y Henderson. Fuente: software RIVER

Metodo de Blench y Altunin

$$B = 1.81(Q F_b/F_s)^{1/2}$$

Factor de Fondo (Fb)
  0.80 - Mat. Finos (Dm < 0.50 mm)  
 1.20 - Mat. Gruesos (Dm > 0.50 mm)

Factor de Orilla (Fs)
  0.10 - Mat. Suelos  
 0.20 - Mat. ligeramente Cohesivos  
 0.30 - Mat. Cohesivos

Figura 16. Método de Blench y Altunin. Fuente: software RIVER

Metodo de Manning y Strickler

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

Mas Rugosidad

Rugosidad del Cauce del Rio (n)

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

Coeficiente - Tipo de Material del Cauce (K)

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

Coeficiente de Cauce (m)

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

Figura 17. Método de Manning y Strickler.  
Fuente: software RIVER

Posteriormente de haber ingresado la información previa en los métodos dados para ancho estable del cauce, se deberá hallar la sección teórica del cauce mediante el Método de Manning presionando sobre la casilla “Método de Manning”, tomando el valor de ancho estable del cauce promedio posicionado en la casilla “Plantilla (B)” e ingresando el valor de talud necesario.

Seccion Teorica del Cauce

Metodo de Manning

Plantilla (B)

Tirante (M) Ancho (D)

Ancho Estable Promedio

Talud (Z)

Area (A) Perimetro

Ingresar valor de Talud

B. Libre (Bl)

Velocidad N° Froude

Rugosidad

Figura 18. Cálculo de sección teórica del cauce.  
Fuente: Elaboración Propia.

#### 2.4.5.2. Diseño de Diques con River

En la sección Dimensiones del Dique, se debe seleccionar la forma del dique a emplear y, a la vez, el tipo de suelo presente en el cauce del río, que en este caso tenemos un suelo no cohesivo por una mayor presencia de gravas; además, en la casilla “Dm (mm)” se coloca el valor del tamaño medio de roca (D50) en mm., según el estudio de granulometría.

Si se quieren los datos para un dique en curva, se debe de seleccionar la forma y automáticamente aparecerá el valor del radio del dique en relación a los valores anteriormente mencionados.



Figura 19. Sección dimensiones del dique

Se obtienen los datos de socavación general mediante el Método de Lischtván – Levediev, que utiliza este software tanto para Dique en Recta y en Curva, presionando sobre la casilla “Metodo de Ll. List Van Levediev”.

También nos muestra una parte del predimensionamiento de los diques con los datos de Altura de Uña, Altura de Dique y Altura Total.

Las ecuaciones y/o fórmulas que emplea este método se encuentran detalladas en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (ver Ecuación 5 y 6).

**Metodo de U. List Van Levediev**

Dique en Recta    Dique en Curva  
Tirante de Socavacion (m)

Profundidad de Socavacion (m)

Altura de Uña

Altura de Dique

Altura Total (m)

Figura 20. Sección de socavación general.  
Fuente: software RIVER

Se halla el diámetro medio de la piedra en el enrocado con el Método de Maynard (ver Figura 21) y el Método de Isbash (ver Figura 22), se toma el valor promedio de ambos métodos tanto para Dique en Recta como para Dique en Curva.

Con estos resultados, el software nos dará un índice de estabilidad con respecto al deslizamiento y al volteo de la estructura de protección.

**Formula de Maynard**

$$D_{50} = t C_1 F^3$$

$$F = C_2 V I (g y)^{0.5}$$

Gravedad	9.81
Velocidad	3.51
Tirante	2.07
Tirante Socavacion	3.18
C1	0.32
C2	1.25

Figura 21. Método de Maynard. Fuente:  
software RIVER

**Fomula de Isbash**

$$D_{50} = 0.58823 V^2 / (w g)$$

Gravedad	9.81
Velocidad	3.51
Wroca	2.00

Figura 22. Método de Isbash. Fuente: software RIVER

### 2.4.5.3. Diseño de Espigones en River

Mediante el Método de Artomonov (ver Ecuación 7), se consideró un ángulo recomendado comprendido entre 100° y 120 °, ya que se trata de espigones orientados hacia aguas arriba, en contra del flujo de agua, porque son los más utilizados para la protección de márgenes en ríos y su principal función es la de desviar o cambiar la dirección del flujo. Además, la longitud de trabajo (Lt) se tomó como la cuarta parte del ancho estable promedio del cauce del río (B/4) y un talud de relación cara seca y cara húmeda de 1:2 metros, que sigue siendo lo recomendado para la estabilidad de estas estructuras.

Teniendo todo lo anteriormente mencionado, se tomará en cuenta a los espigones como parcialmente sumergidos debido a que, cuando no es tiempo de estiaje, el río suele llegar a caudales considerables.

Se halla la socavación existente en el inicio y en el extremo del espigón presionando en la cailla “Metodo Artomonov”, y también, la separación requerida entre los mismos presionando en la casilla “Distancia en Cauce Recto”.

**Socavacion y Distanciamiento**

**Metodo Astomonov**

**Coefficientes**

Angulo  L. Trabajo  Talud

**Condicion del Espigon**

No sumergido  
 Parcialmente Sumergido  
 Totalmente Sumergido

**Socavacion en el inicio del Espigon**

Ysocavaci  Hsocavaci  Alt Uña

**Socavacion en el Extremo del Espigon**

Ysocavaci  Hsocavaci  Alt Uña

**Distancia en Cauce Recto**

Separacion Maxima   
 Separacion Minima   
 Separacion Recomendada

Talud 1:2  
 (B/4)

Figura 23. Cálculo de socavación y distanciamiento

Para determinar el tamaño de la roca en el enrocado de los espigones y su estabilidad con respecto al deslizamiento y al volteo se utiliza, de igual forma que en los diques enrocados, el Método de Maynard y el Método de Isbash (ver Figura 21 y 22).

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Área de Estudio

La cuenca del río Chicama posee un drenaje hacia el Océano Pacífico en cual discurre Este a Oeste, comenzando desde las alturas de la cadena montañosa. Asimismo, nace en las alturas de las provincias de Otuzco, Gran Chimú y Contumazá, en el cerro Collacuyán. Sus principales afluentes son los ríos Pinchaday, Huanca y San Felipe.

El área de estudio es la zona del sector Puente Careaga, Au. Panamericana Norte aproximadamente a una distancia de 36 km. al norte de la ciudad de Trujillo y con coordenadas (7°49'9"S) (79°10'25"W), partiendo desde éste se tomó una distancia, aguas arriba y aguas abajo, de cada 20 metros hasta los 2.5 km. con una amplitud de corte, para efectos en esta investigación, de 800 metros y una pendiente de 0.675 %.

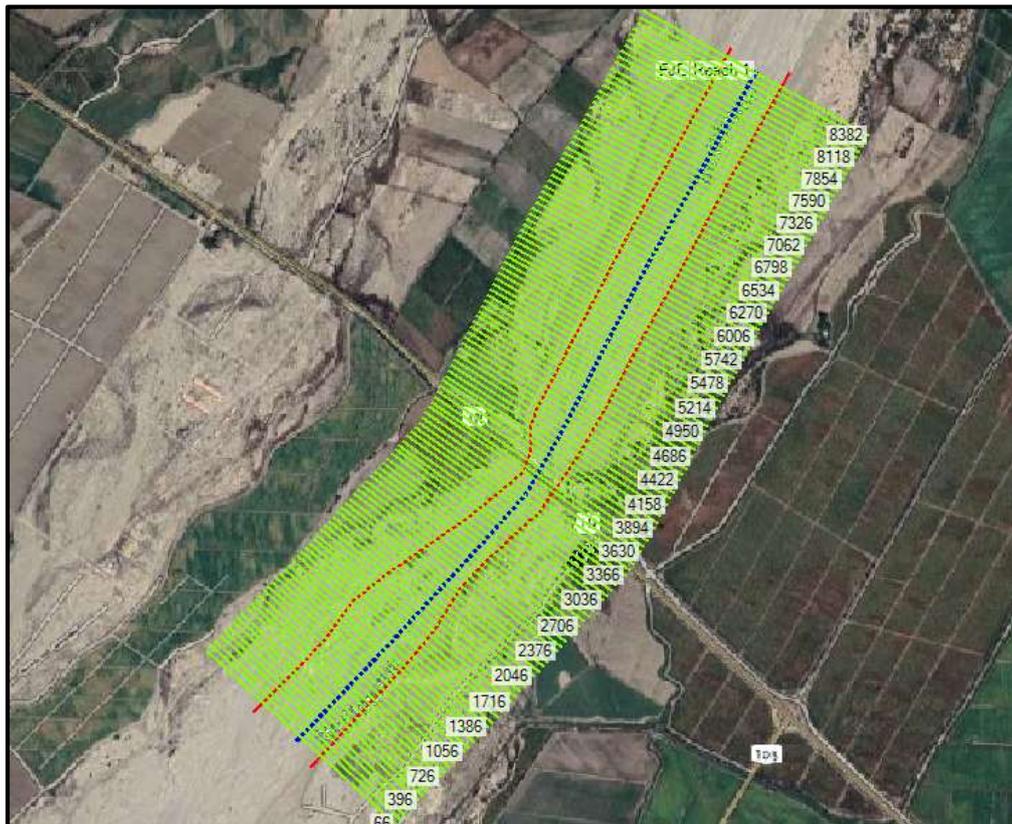


Figura 24. Proyección de Secciones transversales sobre un formato de superficie TIFF y una imagen Satelital en HEC-Ras: Ras-Mapper

### 3.2. Características del Suelo

Se utilizó información documental (ver figura 1), según el estudio de mecánica de suelos elaborado en la tesis “Estudio de socavación del cauce en el río Chicama a 2km aguas abajo del puente Careaga- Chicama- Ascope- La libertad” el suelo tiene una humedad del 10.51% con un peso unitario seco del 1.70gr/cm<sup>3</sup> y un peso unitario húmedo de 1.76 gr/cm<sup>3</sup>.

Contiene grava limpia mal graduada con contenido de arenas, en parte el 1.71% de finos pasa por la malla N°200, el 57.37% está conformado por gravas y el 40.92% está conformado por arenas, además tiene un color gris.

Según la clasificación SUCS es de tipo GP y según clasificación AASHTO es de un tipo A-1-a (0)

### 3.3. Caudal de Diseño

Mediante el método estadístico se calculó la estimación de caudales por medio de la probabilidad de Nash y Gumbel donde se tomó en cuenta la información de descargas máximas anuales durante los eventos del fenómeno del niño costero en los últimos 50 años.

*Tabla 2. Caudal de diseño por el método estadístico para cada periodo de retorno “T” calculado con el software Hidroesta 2.*

Distribución	T = 10 años	T =25 años	T = 50 años
Gumbel	972.35	1200.25	1372.65
Nash	713.12	936.67	1105.26
<b>Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>842.74</b>	<b>1068.46</b>	<b>1238.95</b>

Análisis de Datos: En la presente tabla se muestran los valores del caudal de diseño por medio de los métodos de distribución de Gumbel y Nash calculados con el software Hidroesta 2 (ver Anexos 3 y 4), como existe diferencia de valores en ambos métodos se

determinó un promedio 842.74 m<sup>3</sup>/s, 1068.46 m<sup>3</sup>/s y 1238.95 m<sup>3</sup>/s para los periodos de retorno de 10, 25 y 50 años, considerándolos para la simulación hidráulica en Hec-Ras y en el diseño de las defensas ribereñas.

### 3.4. Simulación Hidráulica en HEC-Ras.

#### 3.4.1. Coeficiente de Manning.

Se calculó el coeficiente de rugosidad en el cauce (tabla 3) y en los márgenes de la planicie de inundación (tabla 4) mediante los valores recomendados en las tablas propuestas por Ven Te Chow (ver Anexo 2) con respecto al coeficiente “n” de Manning para casos como conductos cerrados y/o canales revestidos o dragados, ya que el valor del coeficiente es más alto cuanto más rugosidad presenta la superficie de contacto de la corriente de agua.

*Tabla 3. Coeficiente de Manning del margen central*

CONSIDERACIONES DEL MARGEN CENTRAL			
Material considerado	Grava mixta	n-0	0.026
Grado de Irregularidad	Liso	n-1	0.000
Variaciones de la sección transversal del canal	Gradual	n-2	0.000
Efecto relativo de obstrucciones	Menor	n-3	0.013
Vegetación	Baja	n-4	0.008
Cantidad de meandros	Menor	n-5	1.000
<b>Coeficiente de rugosidad</b>	$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_4) / 5$	<b>n</b>	<b>0.045</b>

*Tabla 4. Coeficiente de Manning de los márgenes de inundación*

CONSIDERACIONES DE LOS MARGENES DE INUNDACIÓN			
<b>Margen izquierdo</b>	Campo de cultivos maduros	n.	0.05
<b>Margen Derecho</b>	Campo de cultivos maduros	n.	0.05

### 3.4.2. Elevación Hidráulica

Se determinó las condiciones de contorno para los periodos de retorno de 10, 25 y 50 años con los coeficientes de rugosidad de 0.05 para ambas llanuras de inundación y 0.045 para el cauce central, pendiente de 0.675 % para un flujo mixto.

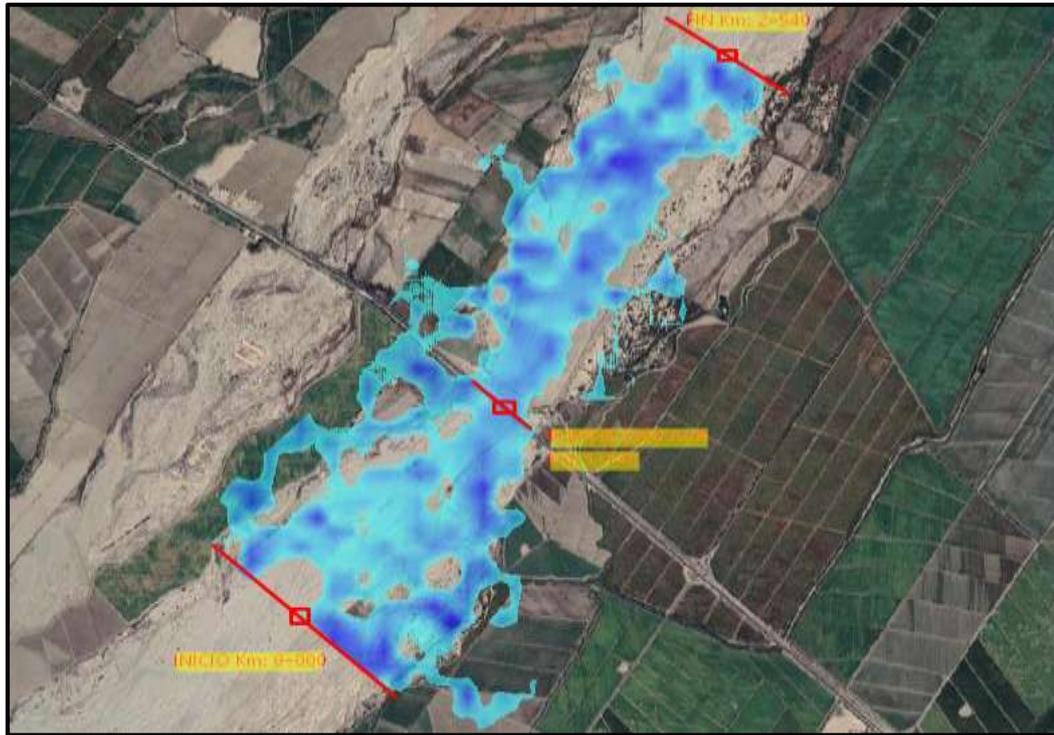


Figura 25. Análisis de inundación para un periodo de retorno de 50 años, modelado mediante Hec-Ras

En la presente muestra de río se identificó 4 puntos críticos de desborde localizados en la mayor parte del río, evaluados mediante Hec-Ras, determinándose la mayor inestabilidad morfológica aguas abajo del puente, debido a la colmatación de arena y piedra e inestabilidad de los márgenes de inundación.

Tabla 5. Llanura de inundación calculado con Hec-Ras

Q (m <sup>3</sup> /s)	T (años)	Área Agrícola (has)
842.74	10	5.17
1068.46	25	6.08
1238.95	50	6.66

Análisis de datos: El área de cultivo afectada, en consecuencia, del desborde del río para los periodos de retorno de 10, 25 y 50 años se indica que es 5.17 has, 6.08 has y 6.66 has consecutivamente.

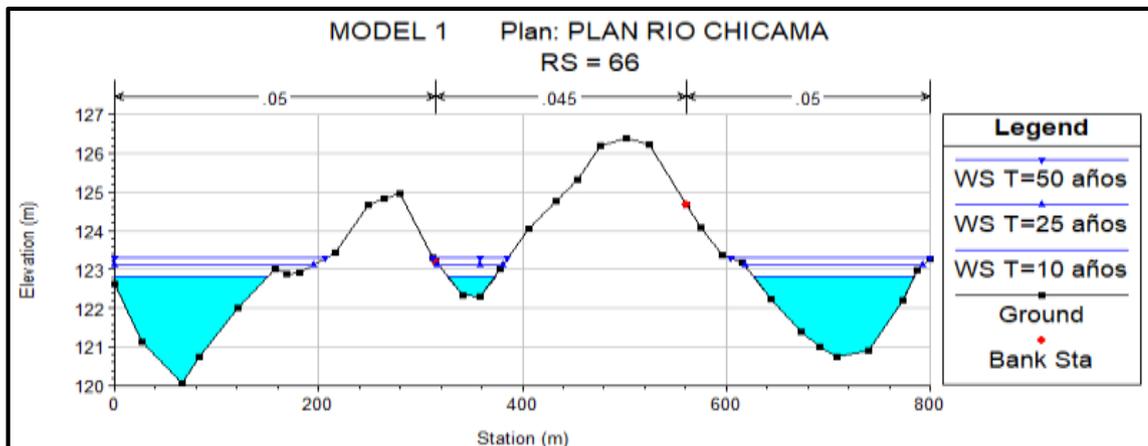


Figura 26. Sección transversal del cauce progresiva 0+000 para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años.

Tramo Km: 0+000 (aguas abajo del puente). En el centro del cauce hay presencia de material colmatado como arena y grava, se ha identificado este como tramo crítico de inundación entre la progresiva 0+000 – 0+800 en ambos márgenes del cauce, con una velocidad de flujo entre 1.52 m/s y 2.68 m/s.

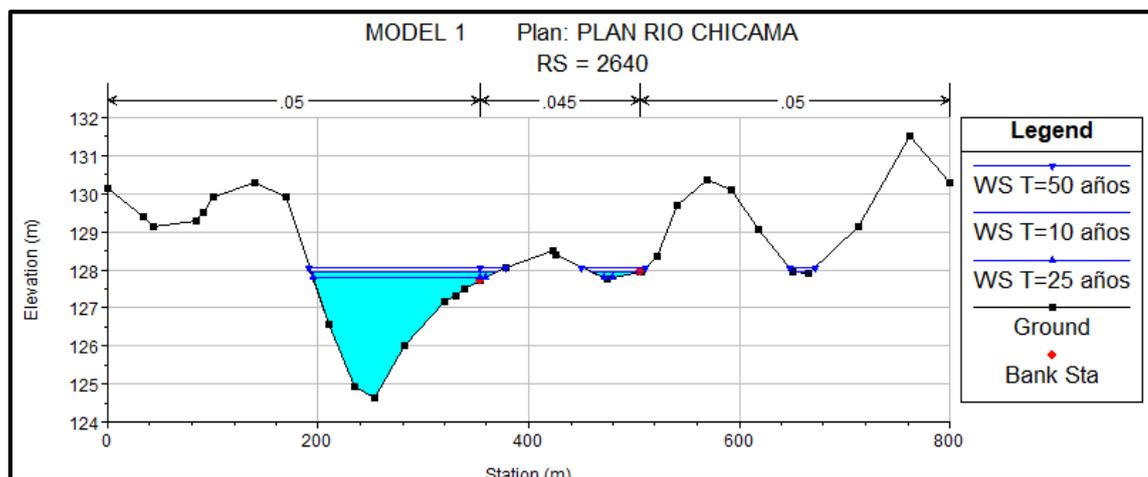


Figura 27. Sección transversal del cauce progresiva 0+880 para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años.

Tramo Km: 0+880 (aguas abajo del puente). En el centro del cauce hay presencia de material colmatado como arena y grava, se ha identificado este como tramo crítico de inundación entre la progresiva 0+880 -0+900 en el margen izquierdo del cauce, con una velocidad de flujo de 1.66 m/s.

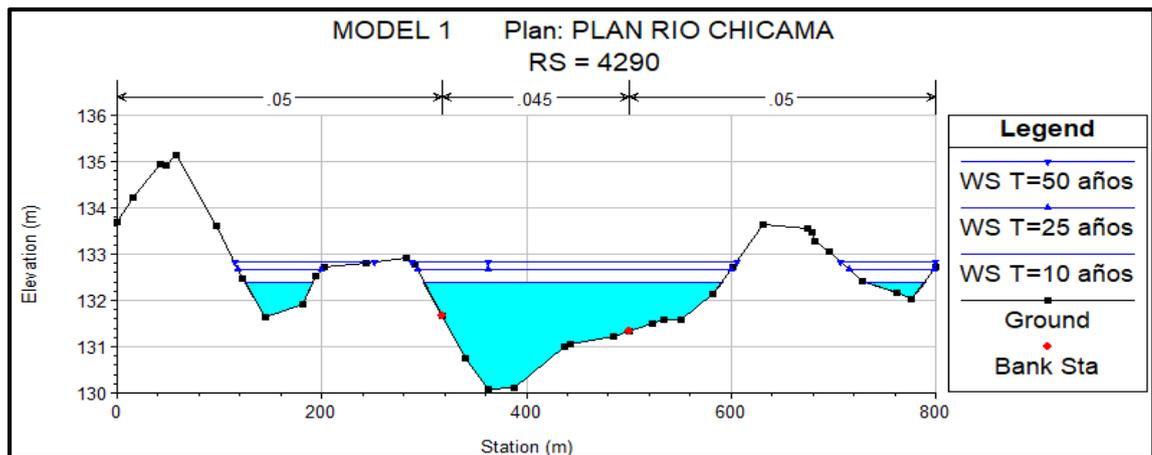


Figura 28. Sección transversal del cauce progresiva 1+300 para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años. Tramo Km: 1+300 (aguas arriba del puente). Se ha identificado este como tramo crítico de inundación entre la progresiva 1+300 – 1+780 en ambos márgenes del cauce, con una velocidad de flujo entre 1.52 m/s y 3.41 m/s.

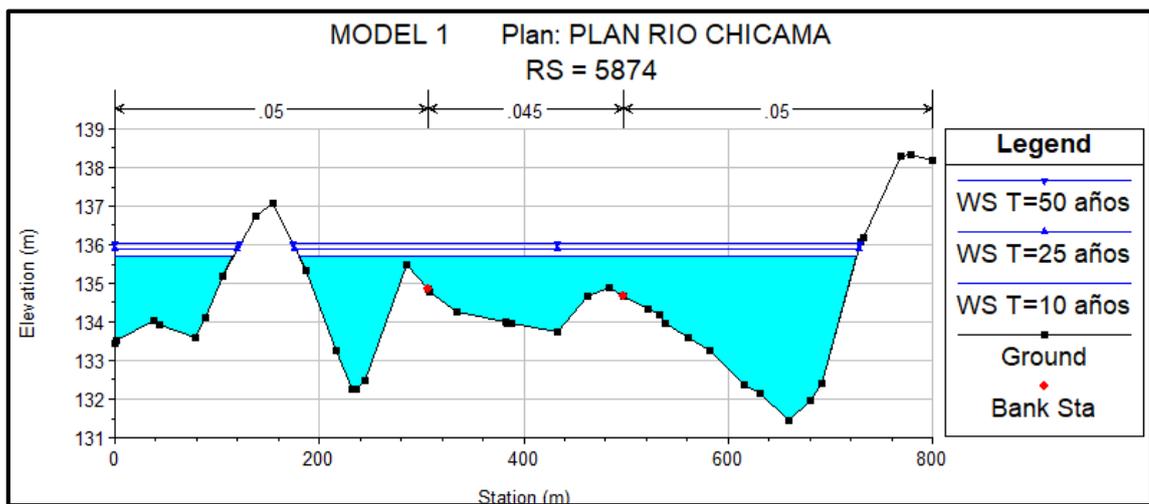


Figura 29. Sección transversal del cauce progresiva 1+780 para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años.

Tramo Km: 1+780 (aguas arriba del puente). Se ha identificado este como tramo crítico de inundación entre la progresiva 1+780 - 2+340 en ambos márgenes del cauce, con una velocidad de flujo entre 1.41 m/s y 3.36 m/s.

### 3.5. Propuesta de defensa con Diques longitudinales en River

#### 3.5.1. Cálculo de ancho estable del cauce

*Tabla 6. Ancho estable promedio en “metros”, calculado por medio de los 5 métodos que proporciona el software River.*

Periodos de Retorno (años)	Métodos	Ancho estable (m.)	Valor prom(m.)
10 años	Recomendación Práctica	92.17	115
	M. de Petits	128.91	
	M. de Simons y Henderson	84.20	
	M. de Blench y Altunin	148.64	
	M. de Manning y Strickler	120.70	
25 años	Recomendación Práctica	106.51	130
	M. de Petits	145.10	
	M. de Simons y Henderson	94.77	
	M. de Blench y Altunin	167.31	
	M. de Manning y Strickler	136.57	
50 años	Recomendación Práctica	116.62	140
	M. de Petits	156.28	
	M. de Simons y Henderson	102.08	
	M. de Blench y Altunin	180.20	
	M. de Manning y Strickler	146.09	

Análisis de Datos: El ancho estable teórico puede variar según la sección del río adoptando el valor promedio se tiene en cuenta que cuando no existe erosión en las orillas el ancho estable del cauce promedio es 115 m para un periodo de 10 años, 130 m para un periodo de 25 años y 140 m para un periodo de 50 años, de los cuales se tomará un ancho estable para un periodo de 50 años para el encauzamiento de avenidas máximas.

### 3.5.2. Socavación general con River

Se hizo el cálculo de la socavación general en el cauce del río mediante el Método de Lischtván-Levediev que utiliza el software RIVER (Anexo 6, 8 y 10), el cual pide ingresar datos como: diámetro medio de piedra encontrada (D50) e indicar el tipo de suelo (no cohesivo), y pueda brindar los valores de profundidad de socavación para un tramo recto, en metros.

*Tabla 7. Socavación general del cauce para tramo recto y curvo en River*

Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Socavación
<b>Tramo Recto del cauce</b>	
Q (842.74)	0.63 m
Q (1068.46)	0.66 m
Q (1238.95)	0.68 m
<b>Tramo Curvo del cauce</b>	
Q (842.74)	2.89 m
Q (1068.46)	3.09 m
Q (1238.95)	3.23 m

Análisis de datos: En tramo curvos la socavación general es mayor debido a que el coeficiente de contracción “u” es menor (ver formula 6) al existir una curvatura.

### 3.5.3. Dimensionamiento de diques

Para la protección del cauce (aguas arriba del puente), identificadas por medio de Hec-Ras y descritas en las Figura N°28 y Figura N°29, se calcularon las dimensiones de los diques longitudinales por medio del software River (ver Anexo 6,8 y10) para la protección de ambos márgenes, desde la progresiva 1+300 hasta 2+340 considerándose una estructura para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años, para un tipo de suelo no cohesivo, debido a que se presenta una mayor presencia de gravas.

*Tabla 8. Dimensiones de diques longitudinales en un tramo RECTO para periodos de 10, 25 y 50 años con el software River*

T (en años)	Altura Total (m.)	Altura de Dique (m.)	Tirante de Socavación (m.)	Altura de Uña (m.)	Ancho de uña (m)
10	3.80	3.10	3.00	0.70	1.00
25	4.00	3.30	3.20	0.70	1.00
50	4.10	3.40	3.33	0.70	1.00

Análisis de datos: Por medio del software River (Anexo 6,8 y10) se calcularon las dimensiones de los diques longitudinales para un tramo RECTO, se obtuvieron la altura de dique y la profundidad de uña que dependen directamente de la profundidad de socavación general descritas en la tabla n°7.

*Tabla 9. Dimensiones de diques longitudinales en un tramo CURVO para periodos de 10, 25 y 50 años con el software River*

T (en años)	Altura Total (m.)	Altura de Dique (m.)	Tirante de Socavación (m.)	Altura de Uña (m.)	Ancho de uña (m)	Profundidad de Socavación (m.)
10	6.00	3.10	5.26	2.90	4.40	2.89
25	6.40	3.30	5.64	3.10	4.60	3.09
50	6.70	3.40	5.89	3.30	4.90	3.23

Análisis de datos: Por medio del software River se calcularon las dimensiones de los diques longitudinales para los tramos CURVOS, se obtuvieron la altura de dique y la profundidad de uña, esta medida es más profunda que la socavación general de un tramo recto debido a que el coeficiente de contracción “u” es menor en tramos que tienen una curvatura.

### 3.5.4. Diámetro de piedra en Enrocado

Además, se halló el diámetro medio de la roca en el enrocado con la Fórmula de Maynard y la Fórmula de Isbash, según el software RIVER(Anexo 7, 9 y 11), donde se tomó el valor promedio de ambos métodos, pero aproximándolos al número décimo próximo para facilitar el uso de los datos, tanto para tramo recto y tramo curvo.

Tabla 10. Diámetro medio de roca en el enrocado seleccionado para tramos rectos en el cauce con River.

T (años)	Método Maynard (m)	Método Isbash (m)	Valor Promedio (m)	Valor Seleccionado (m)
10	0.34	0.53	0.44	0.50
25	0.38	0.58	0.48	0.50
50	0.41	0.62	0.51	0.60

Tabla 11. Diámetro medio de roca en el enrocado seleccionado para tramos curvos en el cauce con River.

T (años)	Método Maynard (m)	Método Isbash (m)	Valor Promedio (m)	Valor Seleccionado (m)
10	0.60	0.53	0.56	0.60
25	0.66	0.58	0.62	0.70
50	0.71	0.62	0.66	0.70

### 3.5.5. Propuesta

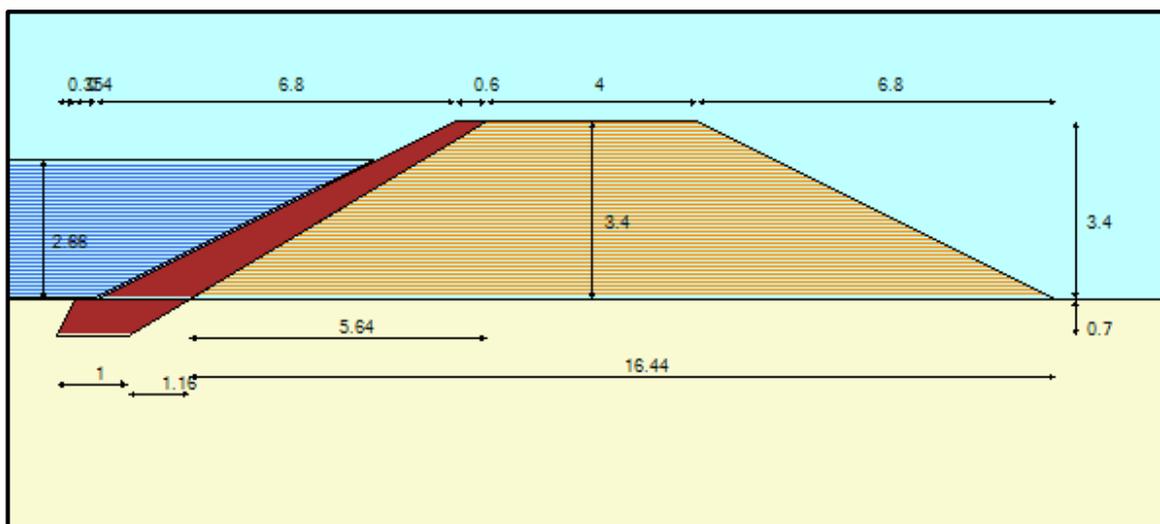


Figura 30. Dimensionamiento de dique enrocado en tramo RECTO proyectado sobre ambos márgenes del cauce en las progresivas 1+300 – 2+340 para un periodo de retorno de 50 años con el software River.

Se propone que los diques en tramos RECTOS del río se encaucen a un ancho estable de 140 m, con una velocidad de flujo de 3.20 m/s y un tirante hidráulico 2.66 m para un periodo de retorno de 50 años. Estos cálculos hidráulicos producirían una socavación general de 0.70 m y por ende se proyectaría una uña de cimentación del mismo valor. El dique se proyectaría sobre los margen izquierdo y derecho ubicados en las progresiva 1+300 – 2+340 aguas arriba del puente Careaga.

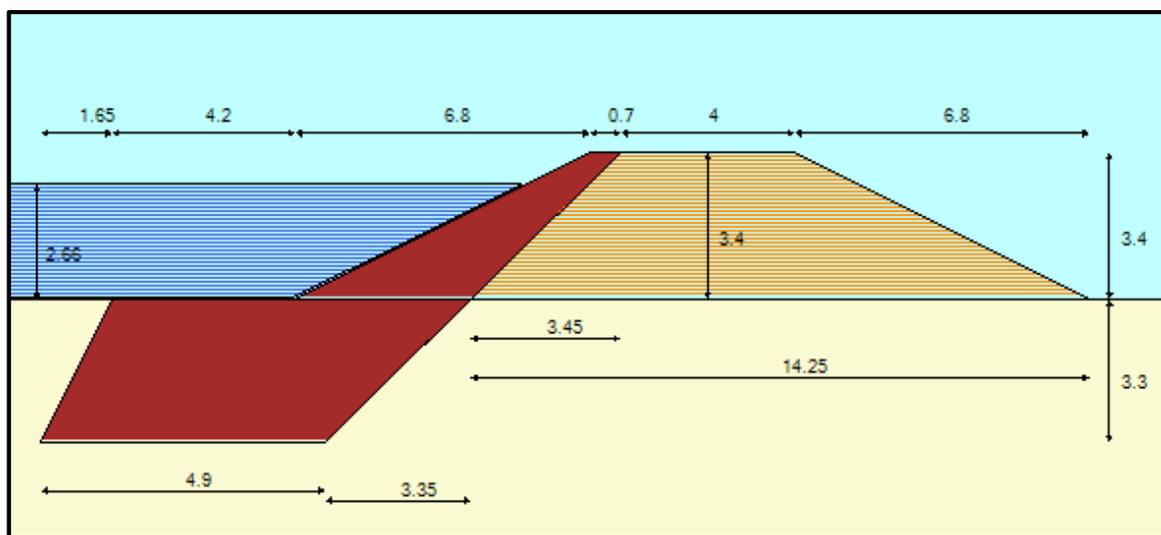


Figura 31. Dimensionamiento de dique enrocado en tramo curvo proyectado sobre ambos márgenes del cauce en las progresivas 1+300 – 2+340 para un periodo de retorno de 50 años con el software River.

Se propone que los diques en tramos CURVOS del río se encaucen a un ancho estable de 140 m, con una velocidad de flujo de 3.20 m/s y una altura hidráulica de 2.66 m para un periodo de retorno de 50 años. Estos cálculos hidráulicos producirían una socavación general de 3.23 m y por ende se proyectaría una uña de cimentación del mismo valor como mínimo. El dique se proyectaría sobre el margen izquierdo y derecho aguas arriba del puente Careaga

### 3.6. Propuesta de defensa con Espigones en River

#### 3.6.1. Dimensionamiento

Para la protección del cauce (aguas abajo del puente), identificadas por medio de Hec-Ras y descritas en las Figura N°26 y Figura N°27, se calcularon las dimensiones de los espigones transversales en el software River (ver anexo 12,13 y 14) ingresando los valores de los coeficientes como ángulo de inclinación: 110, longitud de trabajo: 34.25 y talud: 1-2, e indicando la condición del espigón como parcialmente sumergido, se obtienen lo siguiente:

*Tabla 12. Dimensiones de espigones enrocados para cada periodo de retorno*

Dimensiones (m)	T = 10 años		T = 25 años		T = 50 años	
	Inicio	Extremo	Inicio	Extremo	Inicio	Extremo
Altura del Dique	2.70		2.80		2.90	
Altura Espigón	2.70	2.70	2.80	2.80	2.90	2.90
Altura de Uña	0.94	3.26	1.01	3.51	1.06	3.70
Altura Total	3.64	5.96	3.81	6.31	3.96	6.60

Análisis de datos: La protección se propone en ambos márgenes, ya que en el centro del cauce hay presencia de material colmatado como arena y grava debido a las erosiones provocadas en orillas, proponiendo espigones en las orillas para la restauración y la descolmatación del centro del río esto es posible según la teoría citada en el libro “Control de erosión en zonas tropicales” cuyo autor es Jaime Autor Suarez Diaz

*Tabla 13. Separación de espigones en River*

T (en años)	Separación Mínima (m)	Separación Máxima (m)	Separación Recomendada (m)
10	140.00	112.00	132.00
25	157.50	128.00	148.00
50	171.25	136.00	161.00

Seguidamente se hallan las distancias o separaciones recomendadas por el programa que deberá corresponder a espigones, optando por una separación recomendada.

### 3.6.2. Socavación Local en espigones

Con el software se obtienen la socavación local (tirante de socavación y profundidad de socavación que produce el espigón y el caudal máximo) tanto en el inicio como en el extremo de estas obras de protección a diseñar, mediante el Método de Artamonov que utiliza el software RIVER para su desarrollo.

Tabla 14. Socavación local de los espigones en River

T (años)	Socavación Local (m)	
	Inicio Espigón	Extremo Espigón
10	1.00	3.47
25	1.07	3.54
50	1.11	3.69

### 3.6.3. Propuesta

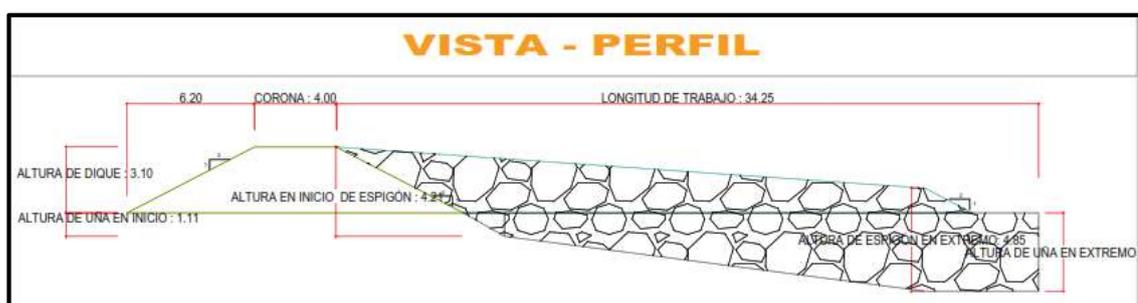


Figura 32. Dimensionamiento de espigón vista de perfil proyectado para un periodo de retorno de 50 años por medio del software River.

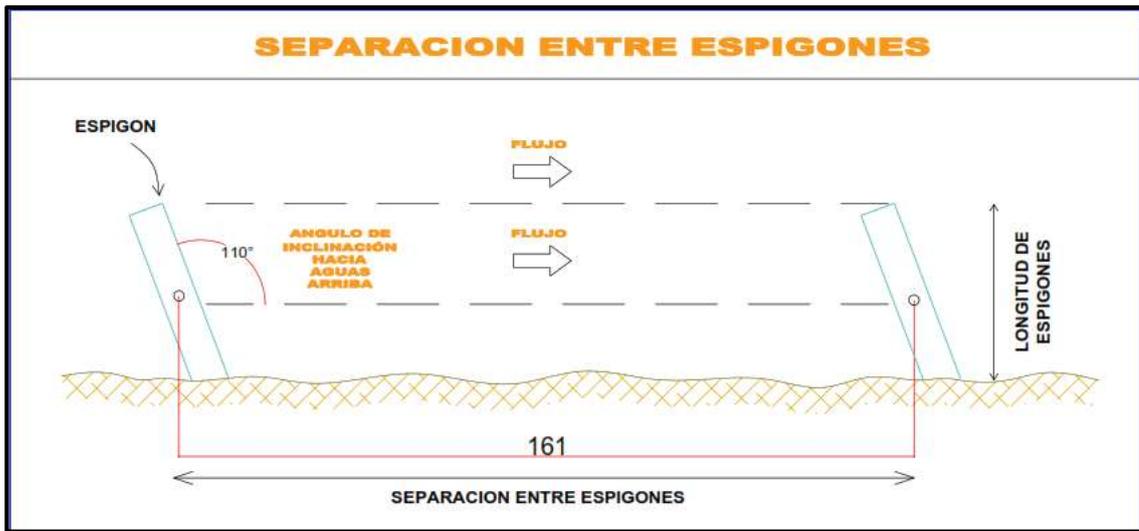


Figura 33. Dimensionamiento de espigón vista de perfil proyectado para un periodo de retorno de 50 años por medio del software River

Se propone que los espigones encaucen un ancho estable de 140 m, con una velocidad de flujo de 3.77 m/s y una altura hidráulica de 2.32 m para un periodo de retorno de 50 años (Ver anexo 14). Estos cálculos hidráulicos producirían una socavación local de 1.11 al inicio del espigón y 3.69 al extremo del espigón con una uña de cimentación de igual medida a la socavación local. Además, tendrá una separación recomendada por el programa de 161 m. Proyectándose espigones en ambos márgenes (aguas abajo del puente) para la eliminación de material colmatado y restauración de orillas como menciona el autor del libro “Control de erosión en zonas tropicales”

Además el programa propone un diámetro medio de piedra del enrocado calculado con el método de Maynard y Isbash .

Tabla 15. Diámetro medio de piedra con River

T (años)	Método Maynard (m)	Método Isbash (m)	Diámetro 1 (m)	Diámetro 2 (m)
10	0.60	0.73	0.70	0.80
25	0.68	0.81	0.70	0.90
50	0.72	0.85	0.80	0.90

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

De acuerdo con la propuesta dada por Álvaro y Henríquez (2014), al utilizar las metodologías existentes para diseñar defensas ribereñas en el programa River, aquí hay cierta similitud cuando se dice que los estudios hidrológicos debieron ser tomados en cuenta para el análisis de caudal o caudales de diseño por periodo de retorno, como también la pendiente en el cauce del río; datos que son necesarios al principio para hallar el ancho estable de nuestro cauce según el programa River, y que en nuestro caso estos datos fueron adaptados de estudios previos. Además, se tomó en cuenta la vegetación existente alrededor de nuestra zona de estudios, ahí ciertamente se hace un regado continuo a los cañaverales por parte de la empresa encargada, esto significa que no es necesario un ciclo de inundaciones para mantenerse. Asimismo, se utilizaron las estaciones Tambo-Salinar para tomar los caudales máximos de los últimos 50 años aproximadamente (1969-2018) y solo los métodos estadísticos de Distribución Gumbel y Método de Nash ya que Pearson III no da resultados muy precisos o más aproximados como los dos anteriormente mencionados.

Los resultados en el presente estudio son solo comparables por la metodología constructiva de las defensas ribereñas con los realizados en Argentina, por lo que las playas u orillas de las zonas del norte se encontrarían expuestas aún a la erosión al construir diques semisumergidos, el impacto de ese efecto también causaría daños a la estructura a largo plazo. Entonces, se abrió la posibilidad de diseñar espigones debido a su funcionalidad con respecto a la erosión local y su socavación general y local ubicada en los extremos de los espigones, tal cual se hizo el análisis en este sector del río Chicama, para que así la cantidad de sedimento transportado solo se deposite cerca a

esas orillas e ir amoldándose a ellas. Además, influye mucho la longitud de esos espigones, dependiendo si los ríos vienen a ser caudalosos solo en tiempos remotos, estaría muy acertado que se tomara lo que indican también estudios experimentales el de tomar como máximo la cuarta parte del ancho promedio de los cauces (B/4).

Existe concordancia con el aprovechamiento en el empleo del programa HEC-RAS para el análisis de inundaciones en ríos y proyectar correctamente los diferentes tipos de defensas ribereñas por tramos. Debido a la descolmatación del cauce del río, pero que aún presenta material colmatado en diversas zonas, es que en las progresivas de zonas críticas tanto aguas abajo como aguas arriba con respecto del Puente Careaga, las dimensiones dadas de diques y espigones deberían ser replanteadas para su dimensionamiento definitivo como lo expresan los autores Otiniano & Cielo (2016) pero existió esta limitación en esta investigación, por lo que solo se tomó en cuenta lo resultante de los programas HEC-RAS y RIVER para ubicarlas de acuerdo al modelamiento hidrológico realizado.

## 4.2 Conclusiones

Por el método estadístico se calculó la estimación de caudales por medio de la probabilidad de Nash y Gumbel tomando en cuenta la información de descargas máximas anuales de los eventos del fenómeno del niño costero en los últimos 50 años, obteniendo avenidas de 842.74 m<sup>3</sup>/s, 1068.46 m<sup>3</sup>/s y 1238.95 m<sup>3</sup>/s para los periodos de retorno de 10, 25 y 50 años.

Se identificó 4 puntos críticos de desborde localizados a lo largo del río, progresivas 0+000, 0+880, 1+300 y 1+780, con una llanura de inundación de 5.17 has, 6.08 has y 6.66 has para los periodos de retorno de 10, 25 y 50 años. Para la protección de estos

márgenes de inundación se calculó primeramente un ancho estable por medio de los 5 métodos que proporciona el software River obteniendo un valor de 140 m en sección del cauce, que sirvió para proyectar el nuevo cauce principal delimitado por las defensas riverañas.

Para la protección de aguas arriba del puente, se propone diques longitudinales para un periodo de retorno de 50 años. Por medio del software River se estima que al proyectar el enrocado con un diámetro de piedra 0.60 m. sobre este tipo de suelo cuyo coeficiente de rugosidad de Manning es de 0.045 se espera tener un peralte hidráulico de 2.37 m., una velocidad de caudal de 3.20 m/s y una socavación de 0.68 m. para un tramo recto y 3.23 m. para un tramo curvo.

Para la protección de aguas abajo del puente, donde se presenta mayor desequilibrio morfológico se propone espigones transversales para la restauración del margen izquierdo y derecho además de la eliminación de material colmatado, propuesta que se menciona como alternativa de solución en el libro “Control de erosión en zonas tropicales” cuyo autor es *Jaime Suarez Diaz*. El diseño del espigón según los cálculos del software RIVER estaría establecido para encausar un ancho estable de 140 m, con una velocidad de flujo de 3.77 m/s y una altura hidráulica de 2.32 m para un periodo de retorno de 50 años. Estos cálculos hidráulicos producirían una socavación local de 1.11 metros al inicio del espigón y 3.69 metros al extremo del espigón con una uña de cimentación de igual medida a la socavación local. Además, tendrá una separación recomendada por el programa de 161 m. Proyectándose espigones en ambos márgenes (aguas abajo del puente) para la eliminación de material colmatado y restauración de orillas como menciona el autor del libro.

## Referencias

- (1) Alfaro, T. (2010). Tratamiento de cauce del río para el control de inundaciones en la cuenca del río Chicama. SENAMHI.  
<http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2357>
- (2) Campos Aranda, D. (2014). Obtención de ecuaciones empíricas para la estimación de crecientes de diseño en la Región Hidrológica Núm. 10 (Sinaloa) de México. Tecnologías y ciencias del agua. Recuperado de:  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222014000100008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222014000100008&script=sci_arttext)
- (3) Chow, V., Meidment, D. & Mays L. (1994). Hidrología Aplicada, p.584, Bogotá: Editorial Nomos S.A.
- (4) Corral, M. y Farias H. (2009). Criterios fluvio-morfológicos aplicados al diseño de obras de encauzamiento de ríos. Caso del Río Salí (Tucumán, Argentina). Cuarto Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. Recuperado de: [http://irh-fce.unse.edu.ar/Rios2009/CD/TC/A/TC\\_A06\\_Corral\\_Criterio\\_Fluvio\\_morfologico.pdf](http://irh-fce.unse.edu.ar/Rios2009/CD/TC/A/TC_A06_Corral_Criterio_Fluvio_morfologico.pdf)
- (5) Coutiño, L. (2015). Metodología integral para estimación y mitigación de la erosión marginales en ríos. (Tesis de maestría). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- (6) Díaz, V. (2015). Control de la erosión ejercido por los diques forestales de la restauración hidrológico forestal de Tórtoles. (Tesis doctoral). Valladolid: Universidad de Valladolid.

- (7) Fernández Salazar, M. (2018). Inestabilidad de la margen derecha del Río Rímac e implementación de taludes con enrocado, Urbanización Perú - San Martín de Porres.
- (8) Gyssels, P. (2014). Optimización y diseño de estructuras de defensa costera de enrocado en el litoral argentino (tesis doctoral no publicada). Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.
- (9) Martínez, P., Martínez, p. y Castaño, S. (2005). Fundamentos de Hidrogeología. Madrid. España: MundiPrensa.
- (10) Ministerio de transporte y comunicaciones. (2008). Decreto Supremo N°034 MTC. Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Perú.
- (11) Monsalve, G. (1995). Hidrología en la Ingeniería. p. 350, Bogotá: Tercer Mundo Editores.
- (12) Otiniano Arribasplata, D. y Cielo Saldaña, J. (2016). Diseño hidráulico y estructural de la defensa ribereña del río Nepeña, Sector Puente Huambacho – Distrito de Nepeña – Santa – Ancash. Universidad Nacional del Santa, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/2718>
- (13) Párraga Muñoz, M. (2015). Estudio de la factibilidad para el encausamiento con enrocado para proteger el puente ubicado sobre el Río Congo en el recinto La Carlota del cantón Balzar (tesis de grado). Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/1525>
- (14) Prieto Castro, M. y Narro Jiménez, F. (2009). Estudio de alternativas para el encauzamiento y defensa ribereña del Río Chicama – Sector Boladero. Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Recuperado de: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9849>

- (15) Rojas Montalvo, F. (2014). Bases de diseño hidráulico para los encauzamientos o canalizaciones de ríos (tesis de grado). Universidad Central del Ecuador, Ecuador.  
recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2592>
- (16) Romero Carrera, C. (2018). Obra de protección para evitar desbordamiento del cauce previniendo daños agrícolas en el sitio La Hacienda Calichana (tesis de grado). Universidad Técnica de Machala, Ecuador. Recuperado de:  
[http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12412/1/TTUAIC\\_2017\\_I\\_CD0020.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12412/1/TTUAIC_2017_I_CD0020.pdf)
- (17) SENAMHI (2013). Estudios hidrológicos extremos en la cuenca del río Chicama. p.22-23.
- (18) Suarez, J. (2001). Control de erosión en zonas tropicales, p. 489. Bucaramanga: División Editorial y de Publicaciones.
- (19) US Army Corp of Engineers (2010). HEC-RAS River Analysis System. Davis, CA.
- (20) Villón, M. (2006). Hidrología Estadística. Recuperado de:  
<http://infocivilweb.blogspot.com/2019/01/hidrologia-estadistica-maximovillon.html>

## ANEXOS:

### ANEXO n° 1.

#### Matriz de operacionalización de variables

TÍTULO: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE CAUDALES MÁXIMOS CON FINES DE ENCAUZAMIENTO DE AVENIDAS EN EL SECTOR PUENTE CAREAGA, RÍO CHICAMA 2020					
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b>  Análisis del comportamiento de caudales máximos.	Usualmente para el diseño hidrológico se estudian los caudales máximos presentados durante cada año en las épocas de crecidas. Para encontrar este caudal de diseño a la serie de caudales máximos se le ajusta una función de distribución de probabilidades teórica, la cual permite obtener los caudales máximos con probabilidades de excedencia que aún no han sido registrados en los datos históricos. (Yulia & Corredor, 2011)	El estudio se desarrollará en base a softwares que permitan simular el cauce de los ríos en periodos futuros para realizar estudios de inundabilidad y determinar las zonas inundables.	Comportamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Registro de Caudales históricos.</li> <li>Inundación</li> <li>Periodo de retorno</li> </ul>	Nominal
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b>  Encauzamiento de Avenidas.	Estructura construida a lo largo de un curso de agua, que actúa como barrera para prevenir inundaciones. El material que lo compone es suelo cohesivo compactado, sin embargo, puede ser de roca o concreto para mejorar la estabilidad de la estructura y prevenir efectos del agua sobre las partículas de suelo en la barrera (TAW, 1998).	El diseño se desarrollará en base a softwares que permitan simular el encauzamiento del río.	Condiciones Hidráulicas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Profundidad de flujo</li> <li>Erosión</li> <li>Caudal Máximo</li> <li>Velocidad de Flujo</li> <li>Esfuerzo cortante</li> <li>Condiciones Sedimentológicas</li> </ul>	Nominal

ANEXO n°2.

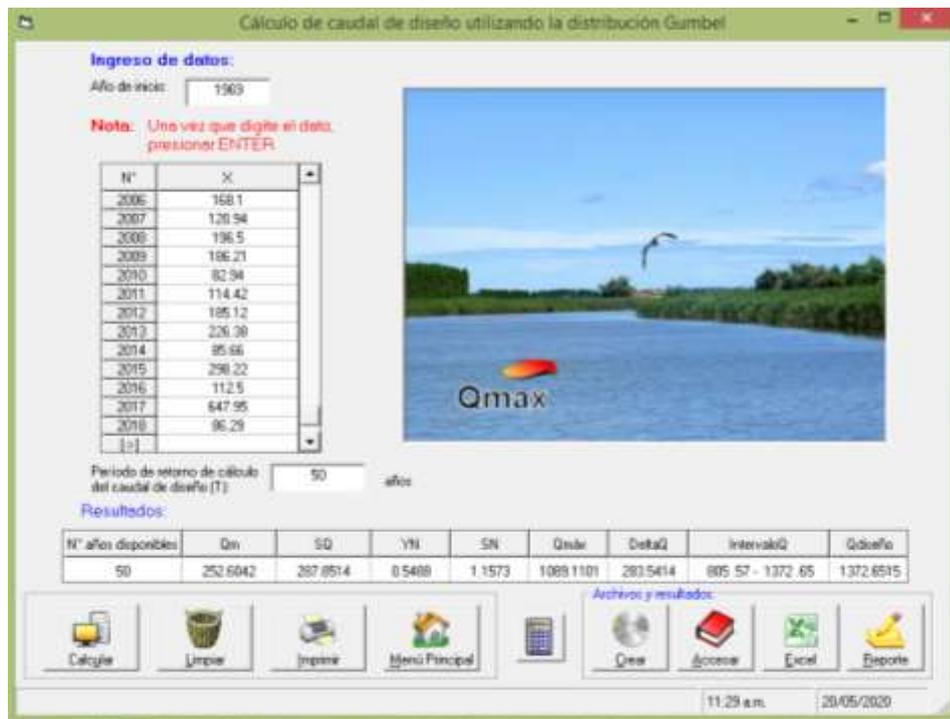
Valores de Manning según Ven Te Chow

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
<b>D. Corrientes naturales</b>			
<b>D.1 Corrientes menores (ancho superior en nivel de crecida &lt; 100 pies &lt;&gt; 30.5m)</b>			
<b>a. Corrientes en planicie</b>			
1. Limpio, recto, nivel lleno, sin montículos ni pozos profundos	0.025	<b>0.03</b>	0.033
2. Limpio, recto, nivel lleno, sin montículos ni pozos profundos, pero más piedras y pastos	0.03	0.035	0.04
3. Limpio, serpenteante o curvado, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.04	0.045
4. Limpio, serpenteante o curvado, algunos pozos y bancos de arena, pero algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.05
5. Limpio, serpenteante, algunos pastos y piedras, nivel bajos, pendiente y sección inefectivas	0.04	0.048	0.055
6. Limpio, serpenteante, pozos, bancos de arena, matorrales pero más piedras	0.045	0.05	0.06
7. Ramos lentos, con pastos y pozos profundos	0.05	0.07	0.08
8. Ramos con mucho pasto, pozos profundos o canales de la crecida con mucha madera y	0.075	0.1	0.15
<b>b. Corrientes en montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendiente usualmente pronunciadas,</b>			
1. Fondo: grava, canto rodado y algunas rocas	0.03	0.04	0.05
2. Fondo: cantos rodados y grandes rocas	0.04	0.05	0.07
<b>D.2 Planicie de inundación</b>			
<b>a. Pastizales sin arbustos</b>			
1. Pastos cortos	0.025	0.03	0.035
2. Pastos altos	0.03	0.035	0.05
<b>b. Áreas cultivadas</b>			
1. Sin cultivo	0.02	<b>0.03</b>	0.04
2. Cultivos maduros alineados	0.025	0.035	0.045
3. Campo de cultivos maduros	0.03	0.04	0.05
<b>c. Arbustos o matorrales</b>			
1. Arbustos escasos, mucha maleza	0.035	0.05	0.07
2. Pequeños matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.05	0.06
3. Pequeños matorrales y árboles, en verano	0.04	<b>0.06</b>	0.08
4. Matorrales medianos a densos, en invierno	0.045	0.07	0.11
5. Matorrales medianos a densos, en verano	0.07	<b>0.1</b>	0.16
<b>d. Árboles</b>			
1. Sauces densos, rectos en verano	0.11	0.15	0.2
2. Terreno limpio, con troncos, sin brotes	0.03	0.04	0.05
3. Terreno limpio, con troncos y gran crecimiento de brotes	0.05	0.06	0.08
4. Gran cantidad de madera, algunos árboles caídos, poco crecimiento de arbustos y nivel de inundación por debajo de las	0.08	0.1	0.12
5. Gran cantidad de madera, algunos árboles caídos, poco crecimiento de arbustos y nivel de inundación por encima de las	0.1	0.12	0.16
<b>D.3 Cursos de agua importantes (ancho superficial de inundación &gt; 100 pies &lt;&gt; 30.5m). Los valores de n son menores que lo de cursos menores con descripción similar, debido a que los bancos ofrecen menor resistencia efectiva</b>			
a. Sección regular sin cantos rodados ni arbustos	0.025		0.06
b. Sección irregular y áspera o rugosa	<b>0.035</b>		0.1

Fuente: Ven Te Chow, "Hidráulica de los canales abiertos", Tabla 5.-6: Valores del coeficiente de rugosidad n.

ANEXO n. 3°.

Caudal de diseño por Distribución Gumbel para un periodo de retorno de 50 años con el software Hidroesta 2



Fuente: Hidroesta 2

ANEXO n. 4°.

Caudal de diseño por Método de Nash para un periodo de retorno de 50 años con el software Hidroesta 2

Cálculo del caudal de diseño utilizando el método estadístico propuesto por Nash

**Ingreso de datos:**  
Año de inicio: 1969

**Nota:** Una vez que digite el dato, presionar ENTER

N°	X
2006	168.1
2007	120.94
2008	196.5
2009	186.21
2010	82.94
2011	114.42
2012	185.12
2013	226.38
2014	85.66
2015	298.22
2016	112.5
2017	647.95
2018	86.29
[>]	

Período de retorno de cálculo del caudal de diseño (T): 50 años

m	Q	T	X	Q*X	Q <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>
1	1860.95	51.0	-2.0655	-3843.78	3463134.9	4.2663
2	778.46	25.5	-1.7601	-1370.17	605999.97	3.0979
3	647.95	17.0	-1.5796	-1023.48	419839.2	2.495
4	607.03	12.75	-1.4501	-880.26	368485.42	2.1028
5	505.59	10.2	-1.3486	-681.84	255621.25	1.8187
6	481.36	8.5	-1.2647	-608.79	231707.45	1.5996
7	450.84	7.2857	-1.193	-537.86	203256.71	1.4233
8	437.77	6.375	-1.1302	-494.76	191642.57	1.2773
9	408.4	5.6667	-1.0741	-438.65	166790.56	1.1536
10	400.62	5.1	-1.0233	-409.94	160496.38	1.047
11	357.91	4.6364	-0.9767	-349.57	128099.57	0.954
12	302.28	4.25	-0.9337	-282.22	91373.2	0.8717
13	298.22	3.9231	-0.8935	-266.46	88935.17	0.7984
14	263.71	3.6429	-0.8558	-225.69	69542.96	0.7325
15	260.96	3.4	-0.8203	-214.05	68100.12	0.6728
16	239.61	3.1875	-0.7865	-188.45	57412.95	0.6185
17	237.98	3.0	-0.7543	-179.5	56634.48	0.5689
18	237.66	2.8333	-0.7234	-171.93	56482.28	0.5233
19	235.1	2.6842	-0.6937	-163.1	55272.01	0.4813
20	226.38	2.55	-0.6651	-150.57	51247.9	0.4424

Sumatorias: 12630.21 -30.0222 -13739.01 7250506.47 30.73

N° años disponibles	Qm	Xm	a	b	Qmáx	DeltaQ	IntervaloQ	Qdiseño
50	252.6042	-0.6004	-38.3138	-484.5046	958.2182	147.0502	811.17 - 1105.27	1105.2683

Archivos y resultados:

Calcular Limpiar Imprimir Menú Principal Crear Accesar Excel Reporte

11:46 a.m. 20/05/2020

Fuente: Hidroesta 2

ANEXO n. 5°.

Cálculo de caudales máximos instantáneos mediante el Método de Fuller con el software River.



Fuente: River

ANEXOS n. 6°.

Calculo Hidráulicos para el diseño de diques longitudinales para un periodo de retorno de 10 años con el software River.

CALCULOS HIDRAULICOS - DIQUES LATERALES

PROCESAR PAGINA IMPRIMIR

PROYECTO: [ ]

Información Inicial			Dimensiones del Dique		Diseño Preliminar Sugerido	
Caudal (Q)	P. Retomo	Pendiente	Forma Dique	Tipo de Suelo	D.Recto	D.Curva
842.74	10.00	0.00600	<input type="radio"/> Recto <input checked="" type="radio"/> Curva	<input checked="" type="radio"/> No Cohesivo <input type="radio"/> Cohesivo	Ancho Corona (m)	4.00   4.00
Ancho Estable del Cauce (B)			Dm (mm)	Radio Curva	Altura Dique (m)	3.10   3.10
Recomendación Practica			30.00	498.00	Altura Enrocado	3.10   3.10
Metodo de Petis			Metodo de U. List Van Levediev		Altura Uña (m)	0.70   2.90
128.89			Digue en Recta   Digue en Curva		Ancho de Uña (m)	1.00   4.40
Metodo de Simons y Henderson			Tirante de Socavacion (m)		Altura Total (m)	3.80   6.00
84.19			3.00   5.26			
Metodo de Blench y Atunin			Profundidad de Socavacion (m)			
148.62			0.63   2.89			
Metodo de Manning y Strickler			Altura de Uña			
120.70			0.70   2.90			
Seccion Teorica del Cauce			Altura de Dique			
Plantilla (B)			3.10   3.10			
Metodo de Manning			Altura Total (m)			
115.00			3.80   6.00			
Tirante (Y)	Ancho (T)	Talud (Z)				
2.37	124.49	2.00				
Area (A)	Perimetro	B. Libre (Bl)				
284.16	125.61	0.73				
Velocidad	Nº Froude	Rugosidad				
2.966	0.615	0.0450				

Fuente: River

ANEXOS n. 7°.

Dimensionamiento de diques longitudinales para un periodo de retorno de 10 años con el software River.



**DIMENSIONAMIENTO DE DEFENSA - DIQUE ENROCADO LATERAL**

PROCESAR PAGINA IMPRIMIR

Dique en tramo en Recta		Dique en Tramo en Curva	
Alt. Dique	Alt. Enroca	Alt. Ufa	Alt. Enroca
3.10	3.10	3.10	3.10
B. Libre	Caudal	B. Libre	Caudal
0.73	842.74	0.73	842.74
Velocidad	Talud	Velocidad	Talud
2.97	2.00	2.97	2.00
Ancho Ufa	Z seco	Ancho Ufa	Z seco
1.00	2.00	4.40	2.00
Wroca	Ang. Fic	Wroca	Corona
2.00	35.00	1.70	4.00

**Formula de Isbash**

$$D_{50} = 0.58823 V^2 / (w g)$$

Gravedad: 9.81  
Velocidad: 2.97  
Wroca: 2.00

**Formula de Maynard**

$$D_{50} = 1 C_1 F^3$$

$$F = C_2 V / (g y)^{0.5}$$

Gravedad: 9.81  
Velocidad: 2.97  
Trante: 2.37  
Trante Socavacion: 3.00  
C1: 0.32  
C2: 1.25

DIQUE EN RECTA - D50 (m)		DIQUE EN CURVA - D50 (m)	
Maynard	0.34	Maynard	0.60
Isbash	0.53	Isbash	0.53
Promedio	0.44	Promedio	0.56
Selección	0.50	Selección	0.50

Deslizamiento: [ ] Volteo: [ ]

Fuente: River

ANEXOS n. 8°.

Calculo Hidráulicos para el diseño de diques longitudinales para un periodo de retorno de 25 años con el software River.

**CALCULOS HIDRAULICOS - DIQUES LATERALES**

PROCESAR PAGINA IMPRIMIR

**PROYECTO:**

Informacion Inicial		
Caudal (Q)	P. Retorno	Pendiente
1068.46	25.00	0.00600
Ancho Estable del Cauce (B)		
Recomendacion Practica	106.54	
Metodo de Petts	145.13	
Metodo de Simons y Henderson	94.79	
Metodo de Blench y Altunin	167.34	
Metodo de Manning y Strickler	135.90	
Seccion Teorica del Cauce		
Metodo de Manning	Plantilla (B)	130.00
Tirante (Y)	Ancho (T)	Talud (Z)
2.54	140.17	2.00
Area (A)	Perimetro	B. Libre (Bl)
343.52	141.37	0.76
Velocidad	Nº Froude	Rugosidad
3.111	0.623	0.0450

Dimensiones del Dique	
Forma Dique	Tipo de Suelo
<input type="radio"/> Recto	<input checked="" type="radio"/> No Cohesivo
<input checked="" type="radio"/> Curva	<input type="radio"/> Cohesivo
Dm (mm)	Radio Curva
30.00	561.00
Metodo de U. List Van Leveediev	
Dique en Recta	Dique en Curva
Tirante de Socavacion (m)	5.64
3.20	
Profundidad de Socavacion (m)	
0.66	3.09
Altura de Uña	
0.70	3.10
Altura de Dique	
3.30	3.30
Altura Total (m)	
4.00	6.40

Diseño Preliminar Sugerido		
	D.Recto	D.Curva
Ancho Corona (m)	4.00	4.00
Altura Dique (m)	3.30	3.30
Altura Enrocado	3.30	3.30
Altura Uña (m)	0.70	3.10
Ancho de Uña (m)	1.00	4.60
Altura Total (m)	4.00	6.40



Fuente: River

ANEXOS n. 9°.

Dimensionamiento de diques longitudinales para un periodo de retorno de 25 años con el software River.

DIMENSIONAMIENTO DE DEFENSA - DIQUE ENROSCADO LATERAL

PROCESAR PAGINA IMPRIMIR

Dique en Tramo en Recta		Dique en Tramo en Curva	
Alt. Dique	Alt. Enroca	Alt. Lf/a	B. Libre
3.30	3.30	0.70	0.76
Caudal	Velocidad	Talud	Ancho Lf/a
1068.46	3.11	2.00	1.00
Z seco	Wroca	Corona	
2.00	2.00	4.00	

**Formula de Isbashi**

$$D_{50} = 0.58823 V^2 / (w g)$$

Gravedad: 9.81  
Velocidad: 3.11  
Wroca: 2.00

**Formula de Maynard**

$$D_{50} = t C_1 F^3$$

$$F = C_2 V / (g y)^{0.5}$$

Gravedad: 9.81  
Velocidad: 3.11  
Trante: 2.54  
Trante Socavacion: 3.20  
C1: 0.32  
C2: 1.25

**DIQUE EN RECTA - D50 (m)**

Maynard: 0.38      Promedio: 0.48  
Isbashi: 0.58      Selección: 0.50

Deslizamiento:      Volteo:

**DIQUE EN CURVA - D50 (m)**

Maynard: 0.66      Promedio: 0.62  
Isbashi: 0.58      Selección: 0.70

Deslizamiento:      Volteo:



Fuente: River

ANEXOS n. 10°.

Calculo Hidráulicos para el diseño de diques longitudinales para un periodo de retorno de 50 años con el software River.

**CALCULOS HIDRAULICOS - DIQUES LATERALES**

PROCESAR PAGINA IMPRIMIR

**PROYECTO:** \_\_\_\_\_

Información Inicial		
Caudal (Q)	P. Retomo	Pendiente
1238.95	50.00	0.00600

Ancho Estable del Cauze (B)	
Recomendacion Practica	116.62
Metodo de Petris	156.28
Metodo de Simons y Henderson	102.08
Metodo de Blench y Altunin	180.20
Metodo de Manning y Strickler	146.34

Seccion Teorica del Cauze	
Metodo de Manning	Plantilla (B) 140.00
Tirante (Y)	Ancho (T)
2.66	150.63
Area (A)	Perimetro
386.40	151.89
Velocidad	Nº Froude
3.208	0.628
	Rugosidad
	0.0450

Dimensiones del Dique	
Forma Dique	Tipo de Suelo
<input type="radio"/> Recto	<input checked="" type="radio"/> No Cohesivo
<input checked="" type="radio"/> Curva	<input type="radio"/> Cohesivo
Dm (mm)	Radio Curva
30.00	603.00
Metodo de U. Lit Van Levedev	
Dique en Recta	Dique en Curva
Tirante de Socavacion (m)	
3.33	5.89
Profundidad de Socavacion (m)	
0.68	3.23
Altura de Uña	
0.70	3.30
Altura de Dique	
3.40	3.40
Altura Total (m)	
4.10	6.70

Diseño Preliminar Sugerido		
	D.Recto	D.Curva
Ancho Corona (m)	4.00	4.00
Altura Dique (m)	3.40	3.40
Altura Enrocado	3.40	3.40
Altura Uña (m)	0.70	3.30
Ancho de Uña (m)	1.00	4.90
Altura Total (m)	4.10	6.70



Fuente: River

ANEXOS n. 11°.

Dimensionamiento de diques longitudinales para un periodo de retorno de 50 años con el software River.

DIMENSIONAMIENTO DE DEFENSA - DIQUE ENROCADÓ LATERAL

PROCESAR PAGINA IMPRIMIR

Dique en tramo en Recta		Alt. Uña	B. Libre	Caudal	Velocidad	Talud	Ancho Uña	Z seco	Wroca	Ang. Fec
Alt. Dique	3.40	3.40	0.70	0.74	1238.95	3.21	2.00	1.00	2.00	35.00

Dique en Tramo en Curva		Alt. Uña	B. Libre	Caudal	Velocidad	Talud	Ancho Uña	Z seco	Wdique	Corona
Alt. Dique	3.40	3.40	3.30	0.74	1238.95	3.21	2.00	4.90	2.00	1.70
										4.00

**Formula de Izbash**

$$D_{50} = 0.58823 V^2 / (w g)$$

Gravedad: 9.81  
Velocidad: 3.21  
Wroca: 2.00

**Formula de Maynard**

$$D_{50} = t C_1 F^3$$

$$F = C_2 V / (g y)^{0.44}$$

Gravedad: 9.81  
Velocidad: 3.21  
Trante: 2.66  
Trante Socavacion: 3.33  
C1: 0.32  
C2: 1.25

**DIQUE EN RECTA - D50 (m)**

Maynard: 0.41 (Promedio: 0.51)  
Izbash: 0.62 (Selección: 0.50)

Deslizamiento:  Volteo:

**DIQUE EN CURVA - D50 (m)**

Maynard: 0.71 (Promedio: 0.66)  
Izbash: 0.62 (Selección: 0.70)

Deslizamiento:  Volteo:



Fuente: River

ANEXOS n. 12°.

Calculo Hidráulicos para el diseño de espigones transversales para un periodo de retorno de 10 años con el software River.

CALCULOS HIDRAULICOS - ESPIGONES

PROCESAR PAGINA IMPRIMIR AYUDA

TESIS

Información Inicial		
Caudal (Q)	P. Retomo	Pendiente
842.74	10.00	0.0060

Ancho Estable de cauce (m)	
Recomendacion Practica	92.16
Metodo de Pettits	128.89
Metodo Simons y Henderson	84.19
Metodo de Blench y Altunin	148.62
Metodo Manning y Strickler	105.24

Seccion Teorica del Cauce del Rio		
Plantilla (B)	Metodo de Manning	
112.00		
Tirante (Y)	Ancho (T)	Talud (Z)
2.07	120.30	2.00
Area (A)	Perimetro	B. Libre (Bl)
241.01	121.28	0.73
Velocid (V)	Nº Froude	Rugosid (n)
3.498	0.775	0.0350

Socavacion y Distanciamiento		
Metodo Antonov		
Coeficientes		
Angulo	L. Trabajo	Talud
110.00	28.00	2.00
Condicion del Espigon		
<input checked="" type="radio"/> No sumergido		
<input type="radio"/> Parcialmente Sumergido		
<input type="radio"/> Totalmente Sumergido		
Socavacion en el inicio del Espigon		
Ysocavaci	Hsocavaci	Alt Uña
3.07	1.00	1.00
Socavacion en el Extremo del Espigon		
Ysocavaci	Hsocavaci	Alt Uña
5.54	3.47	3.47
Distancia en Cauce Recto		
Separacion Maxima	140.00	
Separacion Minima	112.00	
Separacion Recomendada	132.00	

Dimensiones Preliminares	
Altura del Dique	
2.80	
Altura del Espigon	
Inicio	Extremo
2.80	2.80
Altura de Uña	
Inicio	Extremo
1.00	3.47
Altura Total	
Inicio	Extremo
3.80	6.27

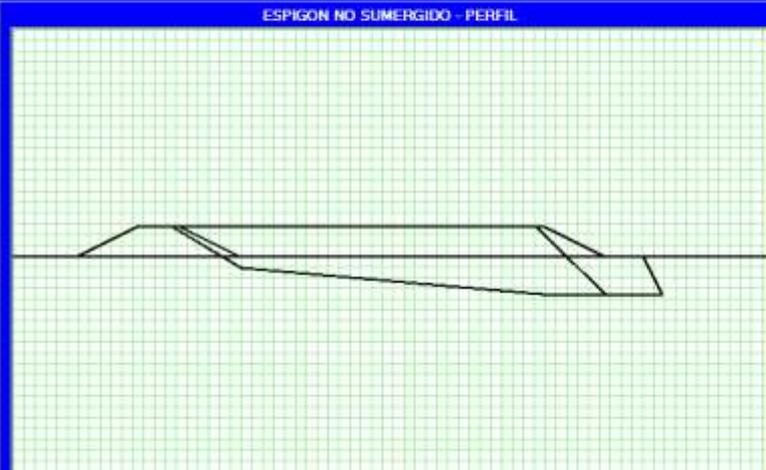


DIMENSIONAMIENTO DE DEFENSA - ESPIGONES ENROCADOS

PROCESAR CONFIGURAR IMPRIMIR

Características y Dimensiones del Rio y su Cauce							
Caudal (Q)	Ancho (T)	Plantilla (B)	Tirante (Y)	Velocidad	Rugosidad	Talud	Froude
842.74	120.30	112.00	2.07	3.50	0.0350	2.00	0.78

ESPIGON NO SUMERGIDO - PERFIL



Dique		
A. Corona	Dimensiones Inicio Espigon	
4.00	Altura	A. Corona
	2.80	4.00
Alt. Dique	Alt. Uña	Ancho Uña
2.80	1.00	1.50
Bordo Libre	Talud	Ancho Riev
0.73	2.00	0.70
Talud	Dimensiones Extremo	
2.00	Altura	A. Corona
	2.80	4.00
Wdique	Alt. Uña	Ancho Uña
1.70	3.47	5.21
Wroca	Talud	Ancho Riev
2.00	2.00	0.80
Tamaño de la Roca - Diametro (m)		
	Diametro 1	Diametro 2
Maynard	0.60	0.70
Isbesh	0.73	0.80
Voltes		
Desplazamiento		
INICIAR		

10



Fuente: River

ANEXOS n. 13°.

Calculo Hidráulicos para el diseño de espigones transversales para un periodo de retorno de 25 años con el software River.

CALCULOS HIDRAULICOS - ESPIGONES

PROCESAR PAGINA IMPRIMIR AYUDA

TESIS

Información Inicial		
Caudal (Q)	P. Retomo	Pendiente
1068.48	25.00	0.0060

Ancho Estable de cauce (m)	
Recomendacion Practica	106.54
Metodo de Pettits	145.13
Metodo Simons y Henderson	94.79
Metodo de Blench y Altunin	167.34
Metodo Manning y Strickler	118.49

Seccion Teorica del Cauce del Río		
Plantilla (B)	126.00	
Tirante (Y)	Ancho (T)	Talud (Z)
2.23	134.92	2.00
Area (A)	Perimetro	B. Libre (Bl)
290.93	135.97	0.77
Velocid (V)	Nº Froude	Rugosid (n)
3.675	0.786	0.0350

Socavacion y Distanciamiento		
Metodo Automov		
Angulo	L. Trabajo	Talud
110.00	31.50	2.00
Condicion del Espigon		
<input type="radio"/> No sumergido		
<input checked="" type="radio"/> Parcialmente Sumergido		
<input type="radio"/> Totalmente Sumergido		
Socavacion en el inicio del Espigon		
Ysocavaci	Hsocavaci	Alt Uña
3.30	1.07	1.07
Socavacion en el Extremo del Espigon		
Ysocavaci	Hsocavaci	Alt Uña
5.77	3.54	3.54
Distancia en Cauce Recto		
Separacion Maxima	157.50	
Separacion Minima	128.00	
Separacion Recomendada	148.00	

Dimensiones Preliminares	
Altura del Dique	
3.00	
Altura del Espigon	
Inicio	Extremo
3.00	1.11
Altura de Uña	
Inicio	Extremo
1.07	3.54
Altura Total	
Inicio	Extremo
4.07	4.65

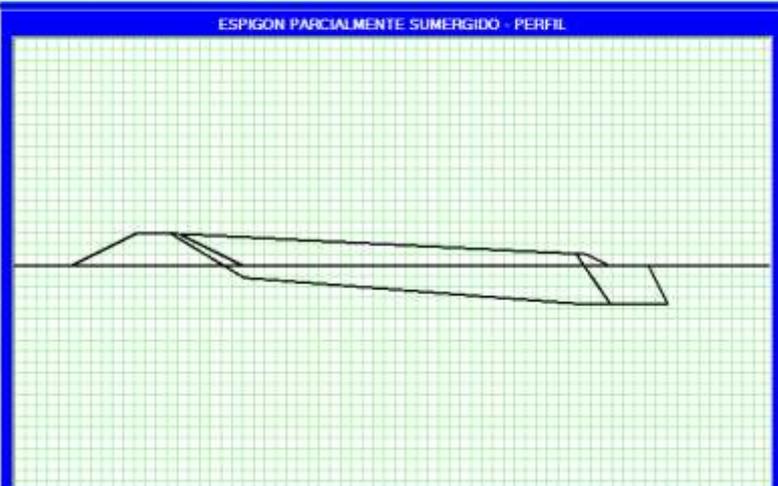


DIMENSIONAMIENTO DE DEFENSA - ESPIGONES ENROCADOS

PROCESAR CONFIGURAR IMPRIMIR

Características y Dimensiones del Río y su Cauce							
Caudal (Q)	Ancho (T)	Plantilla (B)	Tirante (Y)	Velocidad	Rugosidad	Talud	Froude
1068.48	134.92	126.00	2.23	3.68	0.0350	2.00	0.79

ESPIGON PARCIALMENTE SUMERGIDO - PERFIL



Dique		
A. Corona	4.00	
Alt. Dique	3.00	
Borde Libre	0.77	
Talud	2.00	
W. Cauce	1.70	
W. Boca	2.00	

Dimensiones Inicio Espigon		
Altura	3.00	
Alt. Uña	1.07	
Talud	2.00	

Dimensiones Extremo		
Altura	1.11	
Alt. Uña	3.54	
Talud	2.00	

Tamaño de la Roca - Diametro (m)	
Maynard	0.68
Inboesh	0.81
Diametro 1	0.70
Diametro 2	0.90

Volteo

Desplazamiento

INICIAR 9



Fuente: River

ANEXOS n. 14°.

Calculo Hidráulicos para el diseño de espigones transversales para un periodo de retorno de 50 años con el software River.

CALCULOS HIDRAULICOS - ESPIGONES

PROCESAR PAGINA IMPRIMIR AYUDA

TESIS

Información Inicial		
Caudal (Q)	P. Retomo	Pendiente
1238.95	50.00	0.0060

Ancho Estable de cauce (m)	
Recomendacion Practica	116.62
Metodo de Pettits	156.28
Metodo Simons y Henderson	102.08
Metodo de Blench y Altunin	180.20
Metodo Manning y Strickler	127.60

Seccion Teorica del Cauce del Rio		
Plantilla (B)	137.00	
Tirante (Y)	Ancho (T)	Talud (Z)
2.32	146.27	2.00
Area (A)	Perimetro	B. Libre (Bl)
328.31	147.37	0.78
Velocid (V)	Nº Froude	Rugosid (n)
3.775	0.792	0.0350

Socavacion y Distanciamiento		
Metodo Antonov		
Coeficientes		
Angulo	L. Trabajo	Talud
110.00	34.25	2.00
Condicion del Espigon		
<input type="radio"/> No sumergido		
<input checked="" type="radio"/> Parcialmente Sumergido		
<input type="radio"/> Totalmente Sumergido		
Socavacion en el inicio del Espigon		
Ysocavaci	Hsocavaci	Alt Uña
3.43	1.11	1.11
Socavacion en el Extremo del Espigon		
Ysocavaci	Hsocavaci	Alt Uña
6.01	3.69	3.69
Distancia en Cauce Recto		
Separacion Maxima		171.25
Separacion Minima		136.00
Separacion Recomendada		161.00

Dimensiones Preliminares	
Altura del Dique	
3.10	
Altura del Espigon	
Inicio	Extremo
3.10	1.16
Altura de Uña	
Inicio	Extremo
1.11	3.69
Altura Total	
Inicio	Extremo
4.21	4.85

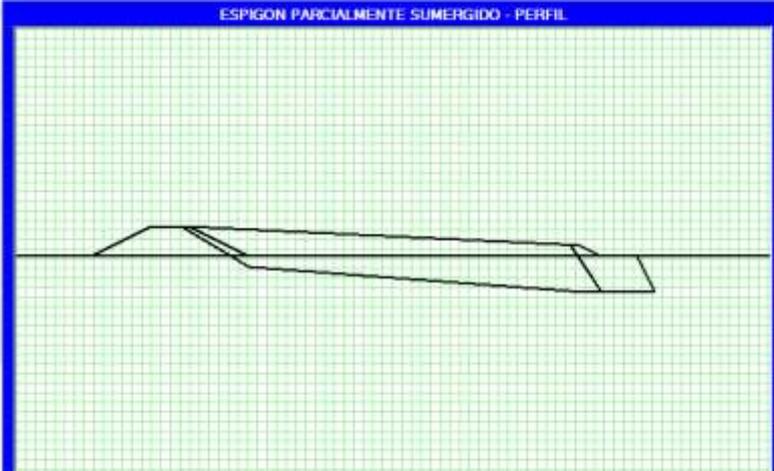


DIMENSIONAMIENTO DE DEFENSA - ESPIGONES ENROCADOS

PROCESAR CONFIGURAR IMPRIMIR

Características y Dimensiones del Rio y su Cauce						
Caudal (Q)	Ancho (T)	Plantilla (B)	Tirante (Y)	Velocidad	Rugosidad	Talud
1238.95	146.27	137.00	2.32	3.78	0.0350	2.00
Froude						
0.79						

ESPIGON PARCIALMENTE SUMERGIDO - PERFIL



Dique		
A. Corona	4.00	
Alt. Dique	3.10	
Bordo Libre	0.78	
Talud	2.00	
Dimensiones Inicio Espigon		
Alt. Uña	1.11	
Alt. Uña	1.57	
Talud	2.00	
Dimensiones Extremo		
Altura	1.16	
Alt. Uña	3.69	
Alt. Uña	5.54	
Talud	2.00	
Tamaño de la Roca - Diametro (m)		
Moynard		0.72
Isbash		0.85
Diametro 1		0.80
Diametro 2		0.90

Volteo

Deslizamiento

INICIAR



Fuente: River

ANEXOS n.15°.

Sección teórica del cauce para un periodo de retorno de 10 años con el software River.

Seccion Teorica del Cauce		Plantilla (B)
Metodo de Manning		115.00
Tirante (Y)	Ancho (T)	Talud (Z)
2.37	124.49	2.00
Area (A)	Perimetro	B. Libre (Bl)
284.16	125.61	0.73
Velocidad	Nº Froude	Rugosidad
2.966	0.615	0.0450

Fuente: Propia

ANEXOS n. 16°.

Sección teórica del cauce para un periodo de retorno de 25 años con el software River.

Seccion Teorica del Cauce		Plantilla (B)
Metodo de Manning		130.00
Tirante (Y)	Ancho (T)	Talud (Z)
2.54	140.17	2.00
Area (A)	Perimetro	B. Libre (Bl)
343.52	141.37	0.76
Velocidad	Nº Froude	Rugosidad
3.111	0.623	0.0450

Fuente: Propia

ANEXOS n.17°.

Sección teórica del cauce para un periodo de retorno de 50 años con el software River.

Seccion Teorica del Cauce		Plantilla (B)
Metodo de Manning		140.00
Tirante (Y)	Ancho (T)	Talud (Z)
2.66	150.63	2.00
Area (A)	Perimetro	B. Libre (Bl)
386.40	151.89	0.74
Velocidad	Nº Froude	Rugosidad
3.208	0.628	0.0450

Fuente: Propia

ANEXOS n. 18°.

Diseño Preliminar de dique enrocado en un periodo de retorno de 10 años con el software River.

Diseño Preliminar Sugerido	D.Recto	D.Curva
	Ancho Corona (m)	4.00
Altura Dique (m)	3.10	3.10
Altura Enrocado	3.10	3.10
Altura Uña (m)	0.70	2.90
Ancho de Uña (m)	1.00	4.40
Altura Total (m)	3.80	6.00

Fuente: Propia

ANEXOS n. 19°.

Diseño Preliminar de dique enrocado en un periodo de retorno de 25 años con el software River.

Diseño Preliminar Sugerido		
	<u>D.Recto</u>	<u>D.Curva</u>
Ancho Corona (m)	4.00	4.00
Altura Dique (m)	3.30	3.30
Altura Enrocado	3.30	3.30
Altura Uña (m)	0.70	3.10
Ancho de Uña (m)	1.00	4.60
Altura Total (m)	4.00	6.40

Fuente: Propia

ANEXOS n. 20°.

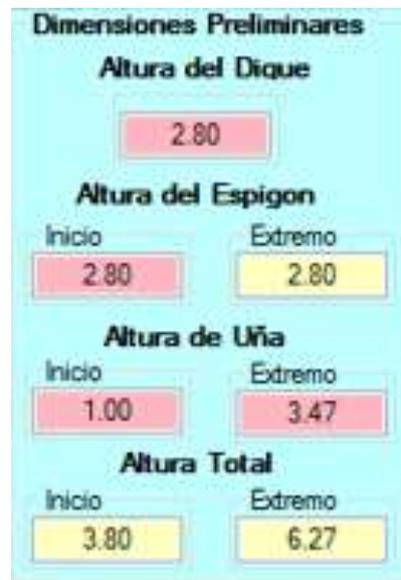
Diseño Preliminar de dique enrocado en un periodo de retorno de 50 años con el software River.

Diseño Preliminar Sugerido		
	<u>D.Recto</u>	<u>D.Curva</u>
Ancho Corona (m)	3.00	4.00
Altura Dique (m)	3.40	3.40
Altura Enrocado	3.40	3.40
Altura Uña (m)	0.70	3.30
Ancho de Uña (m)	1.00	4.90
Altura Total (m)	4.10	6.70

Fuente: Propia

ANEXOS n. 21°.

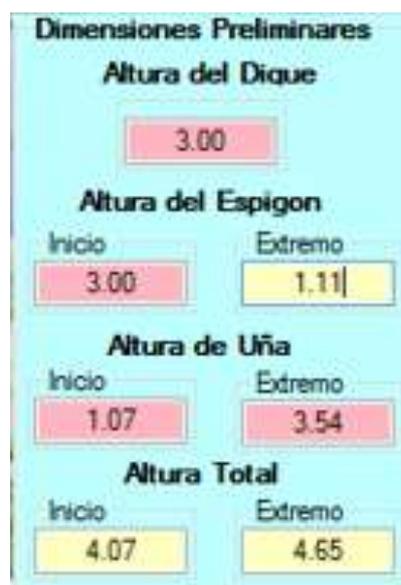
Diseño Preliminar de espigones en un periodo de retorno de 10 años con el software River.



*Fuente: Propia*

ANEXOS n. 22°.

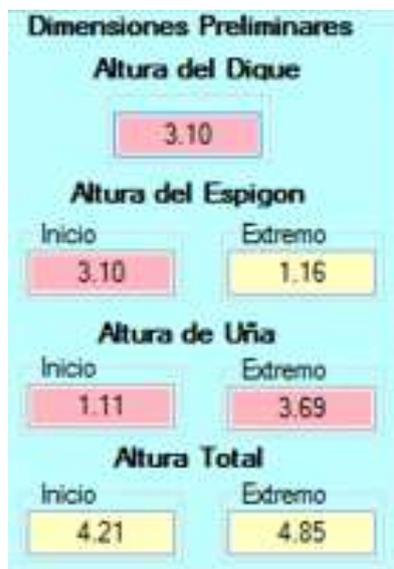
Diseño Preliminar de espigones en un periodo de retorno de 25 años con el software River.



*Fuente: Propia*

ANEXOS n. 23°.

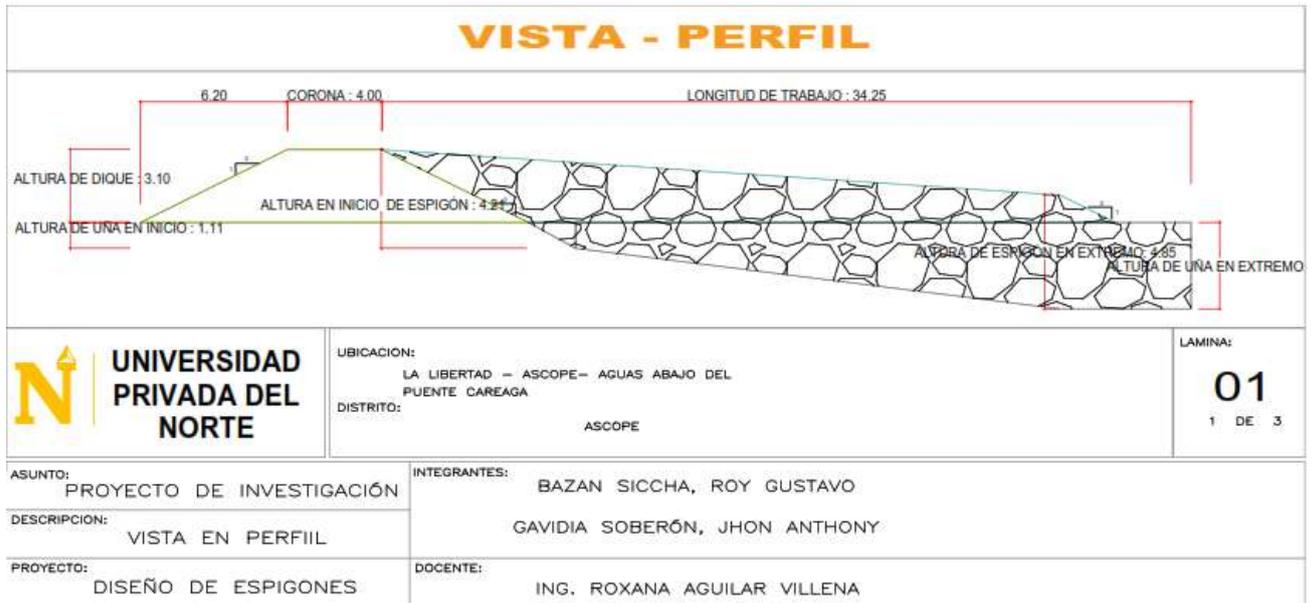
Diseño Preliminar de espigones en un periodo de retorno de 50 años con el software River.



*Fuente: Propia*

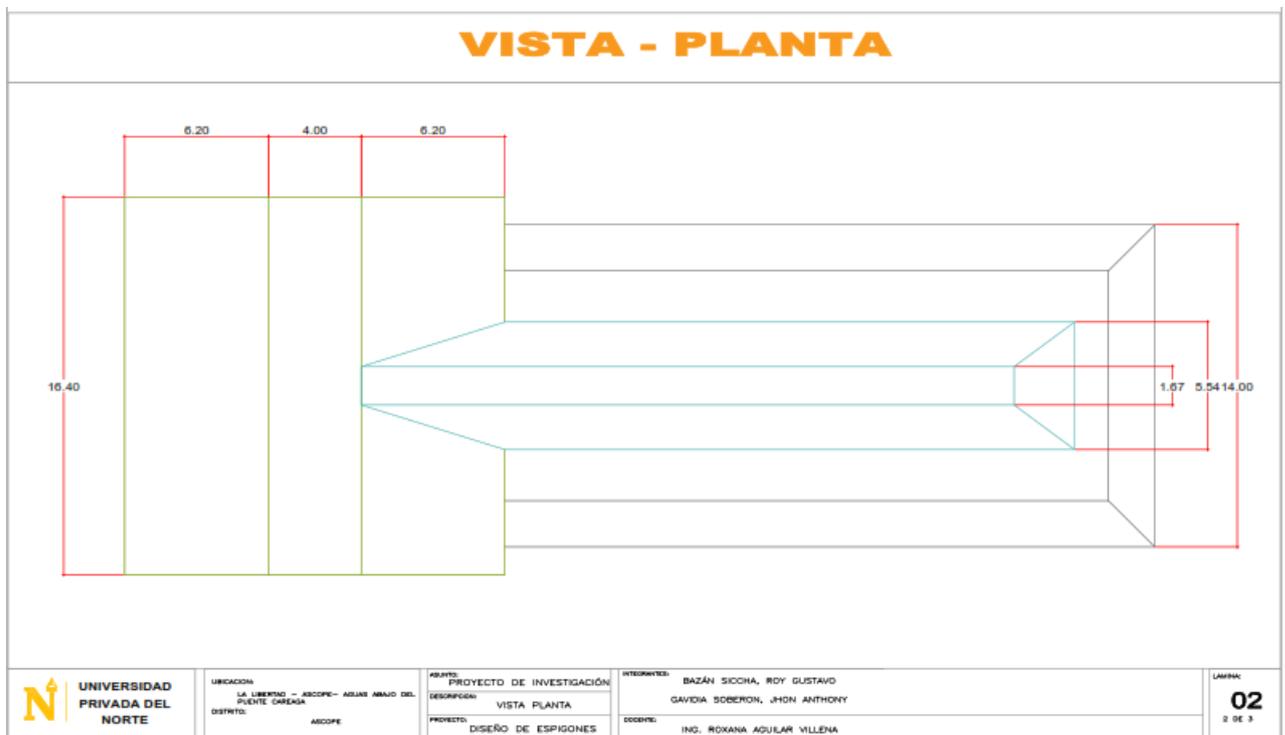
ANEXOS n. 24°.

Espigón para un periodo de retorno de 50 años-vista en Perfil



ANEXOS n. 25°.

Espigón para un periodo de retorno de 50 años-vista en Planta



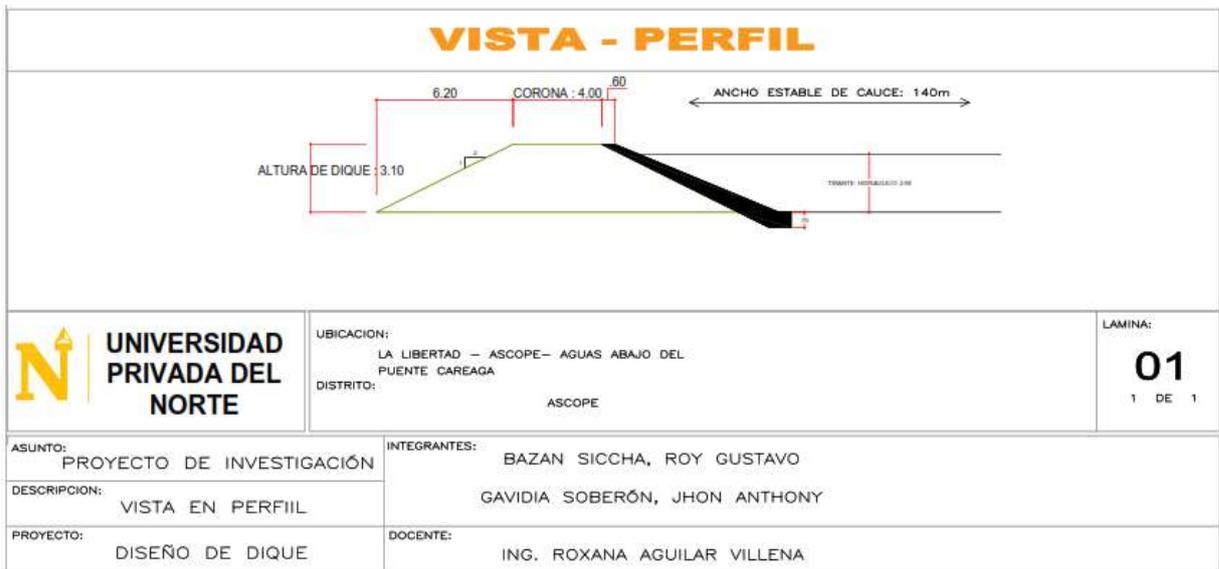
ANEXOS n. 26°.

Separación y ángulo de inclinación del espigón



ANEXOS n. 27°.

Dique enrocado en Tramo Recto para un periodo de retorno de 50 años- vista perfil



ANEXOS n. 28°.

Dique enrocado en Tramo Curvo para un periodo de retorno de 50 años-vista perfil

