



# **UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

### **PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

Diseño hidráulico de la defensa ribereña en el tramo de Independencia del río Pisco usando los softwares HEC-RAS y River para el control de inundaciones en épocas del fenómeno El Niño

### **TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

#### **AUTOR(ES)**

Masias Padilla, Luis Jean Pierre	0000-0003-4616-4011
Veneros Matta, Paul Anderson	0000-0002-4636-2213

#### **ASESOR(ES)**

Ramos Orlandino, Carmela Cristhy	0000-0002-4269-2944
----------------------------------	---------------------

**Lima, 14 de noviembre de 2023**

*DEDICATORIA*

*A Dios y a nuestras familias porque ellos siempre estuvieron a nuestro lado dándonos su apoyo incondicional en estos años estudio.*

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a todas aquellas personas que de alguna manera nos acompañaron a lo largo de este camino y fueron testigos de nuestro esfuerzo constante.

A nuestras familias por siempre apoyarnos y enseñarnos que todo se puede lograr en la vida con esfuerzo y dedicación.

A nuestros compañeros, amigos y futuros colegas con los que compartimos muchas horas de estudio y gratos momentos.

Finalmente, agradecer a la Ingeniera Carmela Cristhy Ramos Orlandino y al Ingeniero Jose Luis Piminchumo Flores, quiénes con su gran profesionalismo aceptaron guiarnos en la realización de este trabajo. Gracias por su apoyo y confianza en nosotros, por su motivación y comprensión.

A todos ellos nuestro mayor agradecimiento.

## RESUMEN

Debido a una amenaza inminente a causa del fenómeno El Niño, que trae consigo crecidas de los ríos y generando inundaciones las cuales afectan a los cultivos, estructuras aledañas, zonas pobladas, se ha desarrollado un diseño de dique enrocado, para así poder brindar protección a las zonas aledañas de cultivo en el margen izquierdo del río Pisco en el tramo de Independencia. Para ello, en el presente estudio se analizó los caudales máximos y periodos de retorno desde el año 1933 hasta el 2019 debido a que en este lapso de tiempo se encuentran los periodos donde se registraron las crecidas de cauce más altos. Luego se desarrolló un estudio de suelos donde se clasifico e identifico el tipo de suelo presente en la zona a estudiar, para así proceder con el diseño de la defensa enrocada mediante el software River, finalizando con la modelación hidráulica con la ayuda del software Hec-Ras.

En el mes de marzo del año 2017, se evidenció una crecida considerablemente en el río Pisco, teniendo una profundidad de hasta 12.50 metros y una velocidad de hasta 23.73 m/s. En el desarrollo del diseño del dique enrocado, se utilizó información brindado por diferentes instituciones nacionales e internacionales, como el ANA y Alaska Satellite Facility.

Palabras clave: RIVER, HEC-RAS, Dique Enrocado, Modelamiento hidráulico

## ABSTRACT

Due to an imminent threat caused by the El Niño phenomenon, which brings with it river floods and generates floods that affect crops, surrounding structures and populated areas, a rockfill dike design has been developed to provide protection to the surrounding cultivation areas on the left bank of the Pisco River in the Independencia section. For this purpose, the present study analyzed the maximum flows and return periods from 1933 to 2019, since this is the period when the highest river floods were recorded. Then a soil study was carried out to classify and identify the type of soil present in the area to be studied, in order to proceed with the design of the castellated defense using the River software, ending with the hydraulic modeling with the help of the Hec-Ras software.

In the month of March 2017, a considerable flood was evidenced in the Pisco River, having a depth of up to 12.50 meters and a speed of up to 23.73 m/s. Information provided by different national and international institutions, such as the ANA and Alaska Satellite Facility, was used in the development of the design of the dike.

Keywords: RIVER, HEC-RAS, Rolled Dam, Hydraulic Modeling

u201416923\_Masias Padilla, Luis Jean Pierre\_Diseño  
hidráulico de la defensa ribereña en el tramo de  
Independencia del río Pisco usando los softwares HEC-RAS y  
River para el control de inundaciones en

INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>10</b> %	<b>10</b> %	<b>4</b> %	<b>3</b> %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>3</b> %
<b>2</b>	<b>repositorio.lamolina.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>3</b>	<b>www.slideshare.net</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>4</b>	<b>cybertesis.unmsm.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>5</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>6</b>	<b>doku.pub</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>7</b>	<b>repositorio.upao.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>8</b>	<b>Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador</b>	<b>&lt;1</b> %

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	1
ANTECEDENTES .....	1
DELIMITACIÓN: TÉCNICA, GEOGRÁFICA, TEMPORAL .....	2
JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	3
ESTADO DEL ARTE.....	3
HIPÓTESIS .....	6
OBJETIVOS .....	6
LIMITACIONES DEL PROYECTO .....	6
DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO.....	7
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>8</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
1.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	8
1.2 INUNDACIONES .....	8
1.3 AVENIDAS MÁXIMAS.....	8
1.4 FENÓMENO EL NIÑO .....	8
1.5 DEFENSAS RIBEREÑAS.....	9
1.6 SOFTWARE HEC- RAS .....	9
1.7 SOFTWARE RIVER .....	9
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>10</b>
<b>2. METODOLOGÍA.....</b>	<b>10</b>
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>12</b>
<b>3. DESARROLLO DE LA TESIS.....</b>	<b>12</b>
3.1 ANÁLISIS DE CAUDALES MÁXIMOS Y PERIODOS DE RETORNO PARA EL MODELAMIENTO DE LA DEFENSA RIBEREÑA.....	12

3.2 DETERMINAR LA CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO LA ZONA DE ESTUDIO. .....	19
3.3 DISEÑO DE UNA DEFENSA UTILIZANDO EL SOFTWARE RIVER .....	24
3.4 MODELAMIENTO DEL RÍO UTILIZANDO EL HEC RAS .....	34
3.5 MODELACIÓN DEL TRAMO CON EL SOFTWARE HEC-RAS INCLUIDO LA DEFENSA RIBEREÑA .	49
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>59</b>
<b>6. ANEXOS.....</b>	<b>61</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Datos de caudal máximo anual del río Pisco (1933-2019) en m <sup>3</sup> /s .....	12
<b>Tabla 2</b> Tabla comparativa de caudales utilizando los tres métodos propuestos con distintos periodos de retorno (m <sup>3</sup> /s).....	19
<b>Tabla 3</b> Perfil estratigráfico de calicatas para el Tramo Independencia .....	20
<b>Tabla 4</b> Capacidad admisible y asentamiento Tramo Independencia .....	23
<b>Tabla 5</b> Evaluación geotécnica de la cimentación .....	23
<b>Tabla 6</b> Tabla resumen de ancho entable para un período de retorno de 50 y 100 años .....	30
<b>Tabla 7</b> Caudales diarios del mes de marzo del año 2017 .....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ubicación del proyecto con coordenadas UTM de inicio y fin del tramo .....	2
<b>Figura 2</b> Mapa de susceptibilidad a inundaciones .....	4
<b>Figura 3</b> Comparación de tipos de estructuras vs su respectivo resultado con las obstrucciones .	5
<b>Figura 4</b> Flujograma de actividades.....	11
<b>Figura 5</b> Primer paso para el cálculo de diseño .....	14
<b>Figura 6</b> Datos básicos del proyecto a ejecutar.....	15
<b>Figura 7</b> Muestra de los datos estadísticos e información de los caudales .....	15
<b>Figura 8</b> Los tres métodos para calcular el caudal en el software River .....	16
<b>Figura 9</b> Resultados del método Log. normal.....	16
<b>Figura 10</b> Resultados del método Gumbel.....	17
<b>Figura 11</b> Resultados del método Pearson III.....	17
<b>Figura 12</b> Resultados de los tres métodos de diseño para un periodo de retorno de 50 años .....	18
<b>Figura 13</b> Resultados de los tres métodos de diseño para un periodo de retorno de 100 años ....	18
<b>Figura 14</b> Primer paso para el diseño de Defensa enrocadas.....	25
<b>Figura 15</b> Ingreso de datos básicos .....	25
<b>Figura 16</b> Método para calcular el ancho estable del cauce (B) .....	26
<b>Figura 17</b> Método Recomendación Práctica .....	26
<b>Figura 18</b> Método de Petits.....	27
<b>Figura 19</b> Método de Simons y Henderson .....	27
<b>Figura 20</b> Método de Blench y Atunin .....	28
<b>Figura 21</b> Método de Manning y Strickler .....	28
<b>Figura 22</b> Resultados de todos los métodos en un periodo de retorno de 50 años .....	29
<b>Figura 23</b> Resultados de todos los métodos en un periodo de retorno de 100 años .....	29
<b>Figura 24</b> Resultados de sección teórica del cauce utilizando el método de Manning.....	30
<b>Figura 25</b> Resultados de dimensiones del dique.....	31
<b>Figura 26</b> Diseño preliminar sugerido .....	31
<b>Figura 27</b> Dimensionamiento del enrocado .....	32
<b>Figura 28</b> Dimensionamiento del tramo recto .....	32
<b>Figura 29</b> Dimensionamiento del tramo curva .....	33
<b>Figura 30</b> Configuración y selección de la zona de estudio .....	34

<b>Figura 31</b> Datos obtenidos del satélite Alos Palsar.....	35
<b>Figura 32</b> Primera configuración del software Hec-Ras.....	35
<b>Figura 33</b> Opción Ras Mapper.....	36
<b>Figura 34</b> Creación de un nuevo terreno.....	36
<b>Figura 35</b> Añadir DEM del Terreno a modelar.....	37
<b>Figura 36</b> Archivo de terreno de entrada .....	37
<b>Figura 37</b> DEM del tramo de Independencia.....	38
<b>Figura 38</b> Añadir imagen satelital al terreno .....	38
<b>Figura 39</b> Imagen satelital con DEM.....	39
<b>Figura 40</b> Río Pisco -Tramo de Independencia .....	39
<b>Figura 41</b> Crear nueva geometría.....	40
<b>Figura 42</b> Opciones para editar la geometría.....	40
<b>Figura 43</b> Creación de perímetro del Tramo Independencia .....	40
<b>Figura 44</b> Editor de área de flujo .....	41
<b>Figura 45</b> Enmallado del tramo Independencia .....	42
<b>Figura 46</b> Delimitación de la entrada y salida del caudal .....	42
<b>Figura 47</b> Enmallado del tramo independencia con borde de entrada y salida.....	43
<b>Figura 48</b> Ingreso de datos del flujo .....	44
<b>Figura 49</b> Configuración para el hidrograma de flujo .....	46
<b>Figura 50</b> Hidrograma diario del mes de marzo del año 2017.....	46
<b>Figura 51</b> Análisis de flujo inestable: realice una simulación de flujo inestable.....	47
<b>Figura 52</b> Análisis de flujo no estacionario .....	47
<b>Figura 53</b> Resultado de la modelación de profundidad con los caudales del mes de marzo del 2017 .....	48
<b>Figura 54</b> Resultado de la modelación de velocidad con los caudales del mes de marzo del 2017 .....	48
<b>Figura 55</b> <i>Zona de estudio y coordenadas de inicio, medio y final del dique</i> .....	50
<b>Figura 56</b> <i>Puntos para obtener los datos de elevación</i> .....	50
<b>Figura 57</b> Puntos para obtener los datos de elevación .....	51
<b>Figura 58</b> Configuración previa a modelamiento .....	52
<b>Figura 59</b> Configuración previa a modelamiento .....	52

<b>Figura 60</b> Modelamiento del dique con la altura y ancho.....	53
<b>Figura 61</b> Modelamiento del dique en el tramo Independencia.....	53
<b>Figura 62</b> DEM con el dique propuesto.....	54
<b>Figura 63</b> DEM con el dique propuesto.....	54
<b>Figura 64</b> Resultado de la modelación con dique de velocidad con los caudales del mes de marzo del 2017.....	55
<b>Figura 65</b> Resultado de la modelación con dique de profundidad con los caudales del mes de marzo del 2017.....	56
<b>Figura 66</b> Inicio de excavaciones para realizar las calicatas .....	61
<b>Figura 67</b> Primera calicata .....	61
<b>Figura 68</b> Segunda calicata .....	62
<b>Figura 69</b> Tercera calicata.....	62
<b>Figura 70</b> Cuarta calicata .....	63
<b>Figura 71</b> Quinta calicata.....	63
<b>Figura 72</b> Río Pisco – Tramo Independencia.....	64

## INTRODUCCIÓN

### Realidad problemática

El Niño es un suceso climático inusual que ocurre durante un período indeterminado de tiempo. Este fenómeno es una variación de las aguas del océano Pacífico y se caracteriza por el aumento de la temperatura del mar, desde la parte central del océano hasta las costas de Sudamérica. Este suceso, en sus manifestaciones más intensas, es responsable de inundaciones y deslizamientos de tierras. El Perú no es ajeno a esta problemática ya que, durante los años 1983, 1997 y 1998 se produjeron los daños más significativos a causa del Fenómeno El Niño en todo el litoral peruano. Poco o nada se pudo hacer para mitigar estos daños ya que se carecía de prevenciones ante este suceso y tampoco se contaban con defensas ribereñas adecuadas para prevenir este fenómeno.

En el primer trimestre del año 2017 se produjo la presencia del Fenómeno “El Niño” o también llamado “Niño Costero”, el cual generó la vulnerabilidad de las defensas ribereñas del Río Pisco al devastarlas parcialmente y a su vez provocando la colmatación de este. Debido a este fenómeno, las zonas agrícolas ubicadas al borde del río se convirtieron en puntos vulnerables al no contar con el caudal adecuado para el riego generando así un constante peligro en la producción de los cultivos.

La cuenca del río Pisco está situada en la parte costera central de Perú. Posee un área de drenaje de 4.500 km<sup>2</sup>, su longitud es de unos 200 km y su altitud varía de 0 a 5218 m.s.n.m. Esta cuenca tiene una extensión desde la superficie del mar hasta la cumbre de la Cordillera Occidental, donde el punto más alto se encuentra entre 5000 y 5500 m.s.n.m. Pertenece al sistema hidrológico del Pacífico, con el río Pisco como cauce principal, y cuenta con una longitud aproximada de 190 Km la cual abarca desde el inicio de la Laguna de Pultoc hasta el Océano Pacífico. (Chira et al., 2011)

De este modo se plantea esta pregunta, ¿cómo se puede proteger las zonas agrícolas y poblaciones aledañas al tramo de Independencia del Río Pisco ante inundaciones en épocas del Fenómeno El Niño?

### Antecedentes

A comienzos del 2017, por motivo de la aparición de “El Niño”, los mecanismos de protección a lo largo del río Pisco quedaron dañados de manera parcial provocando que partes de zonas agrícolas en todo el río se conviertan en zonas susceptibles a la erosión. Estas cantidades de agua ponen en riesgo los cultivos ya sea de manera temporal o constante. Como consecuencia de este

problema, las tierras agrícolas ubicadas a orillas de los ríos están sujetas a erosión debido a la presencia de grandes cantidades de agua, amenazando la producción de sus cultivos.

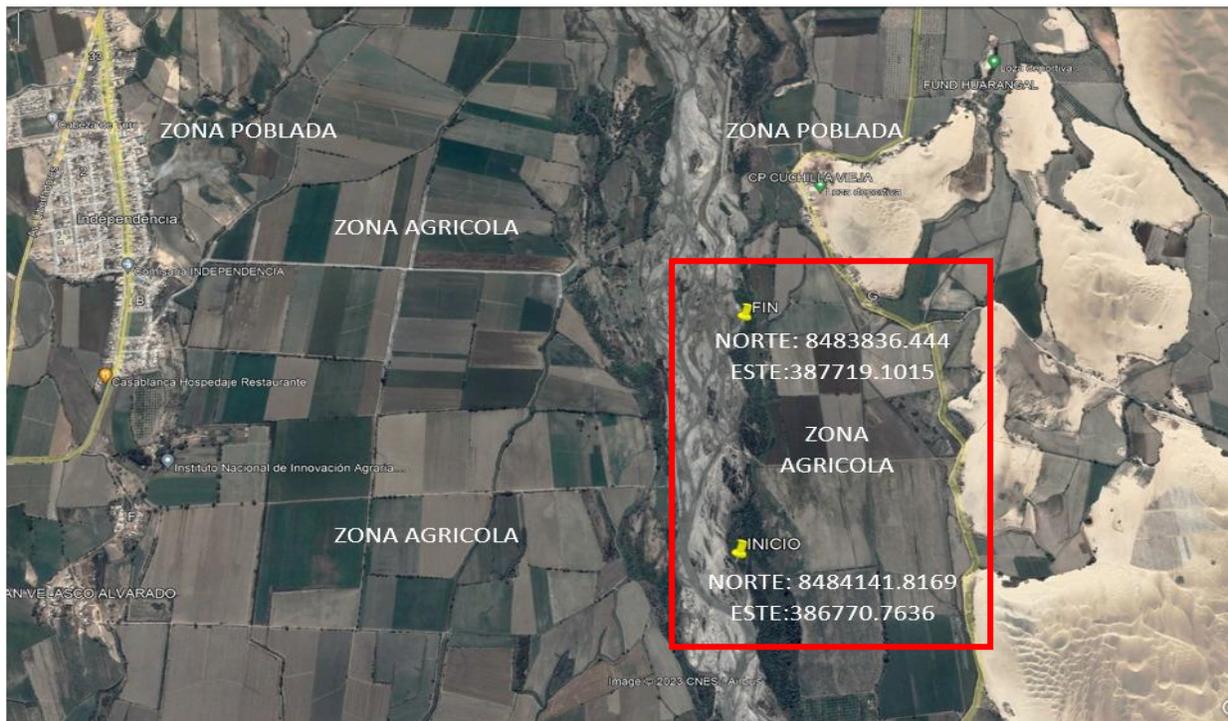
Las condiciones variables y la desprotección en distintas áreas del río Pisco, así como los limitados trabajos de mantenimiento a lo largo del río, han generado la presencia de nuevas áreas críticas con riesgo de erosión e inundación. Para el mejoramiento hidráulico del río se realizarán trabajos de defensas enrocadas para la protección de tramos críticos.

Delimitación: técnica, geográfica, temporal

En la figura 1 se muestra la ubicación geográfica del proyecto. Este se encuentra en el río Pisco, en el tramo de Independencia. El tramo a modelar tiene un inicio con coordenadas UTM Norte: 8484141.8169 y Sur: 386770.7636 y fin del tramo cuyas coordenadas UTM son Norte: 8483836.4444 y Sur: 387719.1015.

### Figura 1

*Ubicación del proyecto con coordenadas UTM de inicio y fin del tramo*



Se realizará el diseño hidráulico de un dique con el software Hec- Ras y River para la modelación de la inundación del Río Pisco en el tramo de Independencia. En este estudio, no se evaluará el detalle de desbordes ni de procesos de huaycos.

Se recopilará información de los caudales máximos anuales provenientes del SENAMHI del año 1933 al 2019

#### Justificación del estudio

El río Pisco suministra aproximadamente  $800.40 \text{ Hm}^3$  de agua anualmente. En este contexto, el río Pisco es la fuente hídrica superficial más importante de la cuenca debido a que es de suma importancia para el abastecimiento de la principal actividad que es la agricultura de exportación ubicada en el valle. Entre los productos agrícolas que destacan en la zona encontramos el algodón, la vid, la mandarina y el maíz. A consecuencia de la capacidad productiva de la provincia, los productos tienen importantes exportaciones a casi todas las regiones del norte y centro del país y al mercado nacional con mayores retornos económicos debido a la alta demanda.

Además, el río Pisco presenta zonas susceptibles a inundaciones, deslizamientos, flujo de escombros debido a la presencia de precipitaciones de larga duración, alta intensidad y la ausencia de desbroce. En los últimos años se han evidenciado registros históricos de precipitaciones durante el Fenómeno de El Niño lo cual ha intensificado los procesos erosivos provocando así, que el río Pisco se vea afectado en sus defensas ribereñas existentes y aumentado las zonas que puedan ser afectadas ante cualquier aumento de caudal significativo. Lo cual conlleva que las zonas agrícolas y urbanas se encuentren en constante peligro, que a su vez afectará de manera significativa a la actividad socioeconómica que se desarrolla a lo largo del Río Pisco.

En consecuencia, el objetivo de la presente investigación está enfocada al modelamiento hidráulico del tramo de Independencia en el Río Pisco que buscará beneficiar a la población de la zona evitando las inundaciones de sus cultivos en épocas de Fenómeno de El Niño.

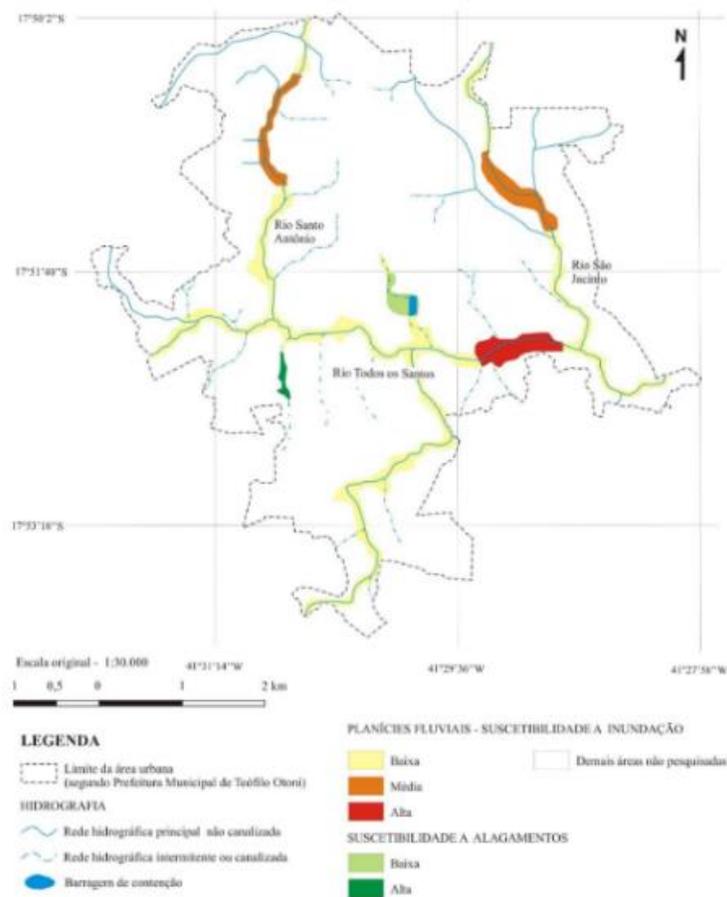
#### Estado del arte

El objetivo de este estudio fue mapear la vulnerabilidad de la ciudad a las inundaciones. Los autores nos muestran que las inundaciones son causadas no sólo por causas naturales, sino también por factores humanos, siendo estos unos de los ejemplos planteados ejemplos, la expansión urbana sin una planificación y políticas efectivas de uso y ocupación del suelo, los autores nos describen que esto causa daños económicos y sociales al estado. El estudio encontró que las inundaciones

se produjeron principalmente en las partes convergentes del modelo, lo que también incluye la obstrucción de laderas y fondos de valles, a menudo acompañadas de canales subterráneos de vías fluviales. Las fallas de planificación son una práctica que ocurrió en el pasado y se repite ahora, el cual constituye una amenaza constante para la ciudad. Según la Figura 2, nos muestra las áreas con diferentes niveles de peligro a través de estudios de campo, análisis de productos de detección remota y evaluación de datos obtenidos por agencias de seguridad pública. (Ferraz et al., 2022).

**Figura 2**

*Mapa de susceptibilidad a inundaciones*

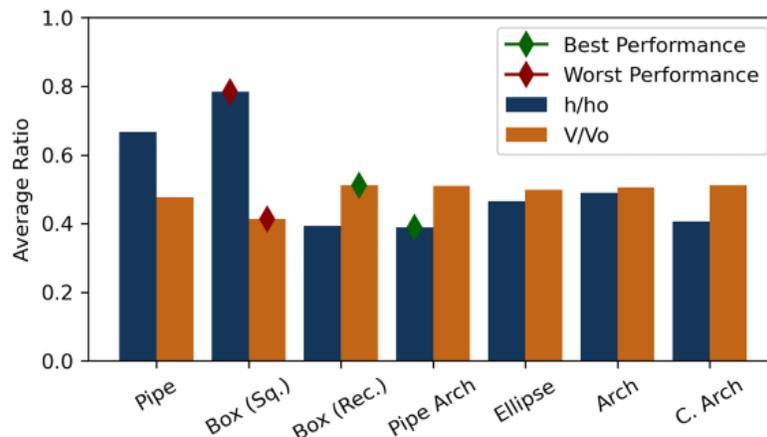


*Nota.* El mapa hace alusión a la susceptibilidad de inundaciones en la ciudad de Teófilo Otoni, Minas Gerais, Brasil. De “Inundations and floods in Teófilo Otoni, Minas Gerais, Brazil, according to geomorphological indicators”, por Ferraz et al., 2022 ([https://www.researchgate.net/publication/364108554\\_Inundacoes\\_e\\_alagamentos\\_em\\_Teófilo\\_Otoni\\_Minhas\\_Gerais\\_Brasil\\_segundo\\_indicadores\\_geomorfológicos](https://www.researchgate.net/publication/364108554_Inundacoes_e_alagamentos_em_Teófilo_Otoni_Minhas_Gerais_Brasil_segundo_indicadores_geomorfológicos))

El estudio se llevó a cabo con el objetivo de investigar los efectos del bloqueo en las estructuras de cobertura de canales, en diversas formas de sección transversal y proporciones de bloqueo. A pesar de los beneficios de las estructuras de cobertura, estos pueden llegar a ser una razón importante para disminuir la eficiencia de transporte de los canales si están sujetos a obstrucciones. El estudio hace referencia a siete formas de sección transversal, los cuales son la caja cuadrada, tubería, arco de tubería, elipse, arco, arco conspan y caja rectangular. Esta investigación se hizo con el software Hec- Ras, el cual evaluara mediante una serie de pruebas de comparación. Los cuales obtuvimos los siguientes resultados, El estudio demostró que el bloqueo en una estructura de cobertura de canal y su extensión perjudica significativamente el rendimiento hidráulico de la estructura, lo que lleva a un mayor índice de pérdida de carga y un índice de velocidad reducido. El alcance de esta reducción varió con las diferentes formas de cobertura, y se encontró que la sensibilidad al bloqueo era mayor en la sección de caja cuadrada, seguida por la sección de tubería con el mismo número de Froude de diseño. En la Figura 3 identificamos que la sección del arco de tubería tuvo el mejor rendimiento en términos de reducción de pérdida de carga, mientras que una caja rectangular con una relación de altura a ancho de 2:3 ocupó el segundo lugar. Considerando las complejidades de construcción asociadas con el arco de tubería, se recomienda la caja rectangular como la opción más práctica y eficiente para el diseño de estructuras de cobertura de canales (Abo-Sreeaa et al., 2023).

**Figura 3**

*Comparación de tipos de estructuras vs su respectivo resultado con las obstrucciones*



*Nota.* En la figura de barras se muestra el resultado de los diferentes tipos de canales evaluados y su respectivo rendimiento, con y sin obstrucción de bolonería. De “The impact of blockage on the performance of canal coverage structures”, por Abo-Sreeda et al., 2023, ([https://www.researchgate.net/publication/372206477\\_The\\_impact\\_of\\_blockage\\_on\\_the\\_performance\\_of\\_canal\\_coverage\\_structures](https://www.researchgate.net/publication/372206477_The_impact_of_blockage_on_the_performance_of_canal_coverage_structures))

### Hipótesis

Utilizando los softwares Hec- Ras y River se propone el diseño hidráulico de una defensa ribereña para un existente déficit en el modelo actual que se encuentra ubicado en el tramo de Independencia del río Pisco en épocas del Fenómeno El Niño.

### Objetivos

#### Objetivo general

Desarrollar un diseño hidráulico de una defensa ribereña en el río Pisco en el tramo de Independencia mediante el uso de los softwares Hec- Ras y River para mitigar inundaciones en épocas del Fenómeno El Niño.

#### Objetivos específicos

- Analizar los caudales máximos y periodos de retorno para el diseño de la defensa ribereña.
- Determinar la clasificación e identificación del tipo de suelo la zona de estudio.
- Diseñar una defensa ribereña mediante el uso del software RIVER.
- Realizar la modelación hidráulica utilizando el software Hec-Ras en el tramo del Río Pisco identificando zonas de inundación.
- Modelación del tramo con el software Hec-Ras incluido la defensa ribereña

### Limitaciones del proyecto

Al realizar la presente investigación se obtuvieron las siguientes limitaciones.

- El difícil acceso a la zona de estudio causado por la presencia zonas agrícolas.
- Para poder realizar los estudios pertinentes se requieren de permisos municipales de la zona los cuales no se cuentan al momento de realizar el estudio.
- Encontrar el personal idóneo para realizar los trabajos de estudio (topógrafo).
- Al no contar con un laboratorio cercano a la zona de estudio, el traslado de la muestra de suelo es una limitante para el estudio.

## Descripción del contenido

En la presente investigación se desarrollará el diseño hidráulico de la defensa ribereña en el tramo de Independencia del río Pisco usando los softwares Hec- Ras y River para el control de inundaciones en épocas del fenómeno El Niño. Dicha investigación consta de 3 capítulos a tratar además de mostrar las conclusiones y recomendaciones:

Introducción: En este capítulo se detallará los puntos esenciales de la tesis tales como la realidad problemática, planteamiento del problema, formulación del problema y los objetivos de la investigación. Además, se incluye también la hipótesis y los estados de arte.

Capítulo 1: En este capítulo se aborda la teoría y los fundamentos teóricos que sustentan el proyecto y la solución propuesta.

Capítulo 2: Se manifiesta el diseño a utilizar y los procedimientos que se realizarán para obtener información y procesarla.

Capítulo 3: Se presentará los resultados para cada objetivo específico planteado. Además, se incluirá el análisis respectivo, así como los cuadros y gráficos con su respectiva interpretación. Para finalizar este capítulo, se expondrá la discusión de los resultados

Conclusiones y recomendaciones: En esta parte se presentarán las conclusiones de la investigación y, por último, se presentará las recomendaciones.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Levantamiento topográfico

Este proceso es una parte importante de cualquier trabajo de campo de la ingeniería, nos ayuda a localizar el relieve, las variaciones tridimensionales de la superficie terrestre o accidentes del terreno. Facilitan una información precisa sobre las elevaciones y zona de ubicación de elementos tanto naturales como artificiales (casas, edificios, corrientes, bosques, etc.) de tal forma que sea factible plasmar la información brindada en un plano (denominados planos topográficos). (McCormac et al., 2014)

#### 1.2 Inundaciones

Las inundaciones son desbordamientos de agua causados por fuertes precipitaciones que provocan que zonas normalmente secas estén cubiertas de agua. Estas inundaciones son un riesgo natural que pueden generar grandes pérdidas económicas y sociales. Las fuertes lluvias son la principal causa de las inundaciones, pero existen otros factores como las lluvias excesivas, los daños a las presas y las actividades realizadas por el ser humano. (Moreno, 2018)

#### 1.3 Avenidas máximas

En hidrología, una avenida máxima es un aumento desproporcionado en la descarga más allá de la descarga promedio de un río, arroyo, canal, etc. El cual puede provocar que el río se desborde ocasionando inundaciones y daños socioeconómicos en zonas adyacentes al curso del río. Las fuertes precipitaciones son la causa principal y más común de este aumento de caudal y velocidad de la red fluvial que, cuando se supera el nivel máximo de crecida, provoca grandes inundaciones a lo largo de los ríos. (De La Lanza Espino et al., 2007)

#### 1.4 Fenómeno El Niño

Es un evento natural climático que tiene un inicio en el Océano Pacífico. Existen distintas explicaciones que intentan describir el Fenómeno El Niño, y que no siempre coinciden. A pesar de ello, existe un acuerdo que lo define como un evento natural no periódico, caracterizado por temperaturas del mar anormalmente altas. Con el paso de los años, El Niño ha pasado de ser un fenómeno local a ser un regulador clave de la variabilidad climática interanual reconocido mundialmente. (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, s.f.)

### 1.5 Defensas ribereñas

Son estructuras diseñadas para la protección de zonas cercanas a ríos debido a las crecidas que se dan a lo largo del tiempo o por fenómenos climatológicos. Estas defensas son esenciales para evitar daños causados por las inundaciones de los ríos. Por ello, desde el diseño inicial y análisis hidráulico se deben considerar todas las situaciones posibles que se puedan presentar a lo largo del río, teniendo en cuenta las situaciones más críticas.

Para la construcción de estas defensas influyen distintos factores, desde factores económicos hasta factores propios de la zona de estudio. Por lo general, en zonas rurales se utilizan diques de tierra y en áreas urbanas se realizan diques de hormigón (Galanton & Romero, 2007).

### 1.6 Software Hec- Ras

Este software fue creado por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos en el año 1905. Esta herramienta de modelización hidráulica se ha convertido en el estándar técnico para evaluar posibles riesgos de inundaciones. Las principales ventajas que tiene el programa son la realización de cálculos de flujos ya sean de manera unidimensional o bidimensional además de la realización de un modelado. Sumado a estas características, la distribución de este software es gratuita permitiendo que sea el adecuado para trabajos de diseño hidráulico en algunos ríos (Abdi et al., 2020).

### 1.7 Software River

Este programa fue creado por el ingeniero Emilse Benavides quien es especialista de la Autoridad Nacional del Agua (ANA). El software River es de uso libre y no necesita de licencia para ser utilizado por cualquier persona. Sirve para el correcto diseño de estructuras ya sean laterales o en espigones y para la protección de cauces o defensas ribereñas (Ingeniería de Recursos Hídricos, s.f.).

## CAPITULO II

### 2. METODOLOGÍA

La presente tesis está orientada a un nivel de investigación exploratoria porque buscará encontrar los sucesos que se dan a lo largo del tramo de Independencia en épocas del Fenómeno de El Niño, además de recoger información de los pobladores de la zona para nuestra investigación. Esto con el fin de salvaguardar las zonas agrícolas aledañas al tramo estudiado a causa de los efectos de precipitaciones extremas en el sur del Perú. En cuanto al diseño de la investigación, se considerará experimental, ya que se usarán datos históricos de precipitación y datos de campo tomados de las principales entidades tales como el SENAMHI, ANA, IGP y así poder realizar el diseño del dique enrocado.

Para alcanzar los objetivos propuestos se efectuarán los siguientes procedimientos:

Se llevará a cabo la visita al Río Pisco para la identificación de: Diques existentes, estado de estos diques, pueblos aledaños a la zona de estudio, devaluación de cultivos por presencia de fenómenos meteorológicos, evaluación de bocatomas presentes en la zona. Según el relieve del terreno, se procederá a efectuar un levantamiento a partir de un punto estacionario para lograr las lecturas de distancia y ángulo para posteriormente almacenarlas en el equipo topográfico. Este levantamiento se efectuará desde el dique del margen izquierdo aguas abajo y tendrá una longitud de 1 Km del eje del cauce del río. Una vez obtenida la data de campo se procederá a descargar y ordenar, para así poder procesarla adecuadamente y a su vez realizar los planos respectivos. La información obtenida se almacenará en un ordenador con el apoyo del programa de la estación total, evaluando estos resultados mediante hojas de cálculo en el software Excel, esta información se procesará y con la ayuda del software AutoCAD Student se realizará el diseño de las curvas de nivel, perfiles longitudinales y las secciones transversales.

De igual manera, se procederá a realizar el estudio de suelos por medio de calicatas. Estas calicatas nos permitirán detallar la clasificación e identificación del suelo con el objetivo de presentar un correcto detalle del dique a proyectar.

Se recopilará datos relacionados a precipitaciones en el sur del país mediante bases de datos de las principales entidades climatológicas como el SENAMHI, ANA, IGP. De acuerdo con la

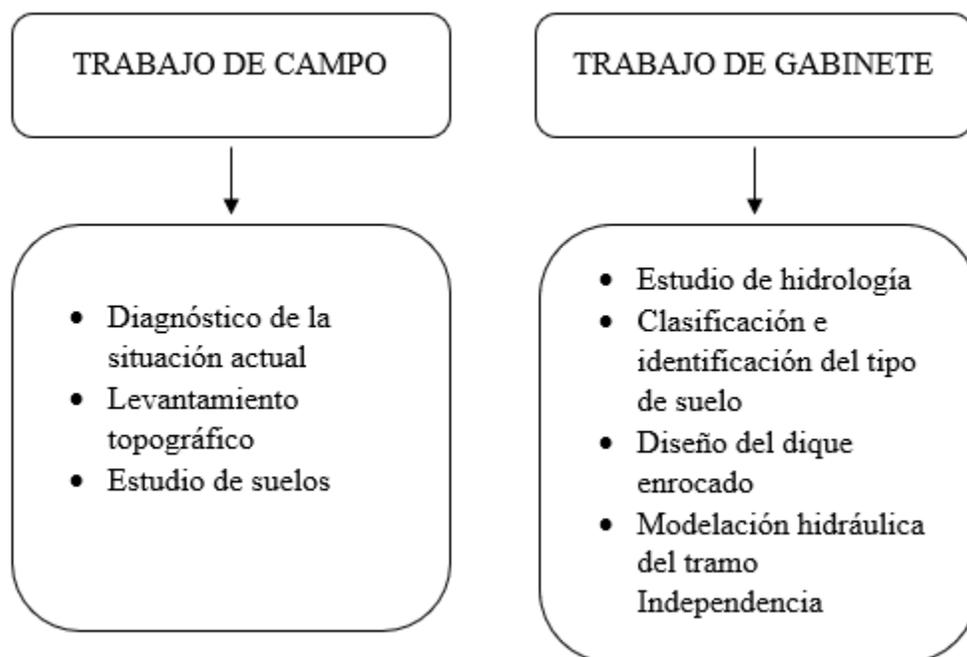
investigación se optará por trabajar con la estación hidrológica de Letrayoc, ya que esta se encuentra ubicada en la zona alta del río Pisco.

Para el cálculo del dimensionamiento de defensa ribereña y la altura de socavación se utilizará el software River y para ello es necesario ordenar la información para realizar el cálculo del caudal de diseño, el cual se calculará utilizando el software Hec-Ras.

En figura 4 se muestra el flujograma de actividades a realizar en la presente investigación.

**Figura 4**

*Flujograma de actividades*



## CAPITULO III

### 3. DESARROLLO DE LA TESIS

3.1 Análisis de caudales máximos y periodos de retorno para el modelamiento de la defensa ribereña.

Para la recopilación de información, se tomó en consideración la Estación Letroyoc, la cual se encuentra ubicada, aguas abajo del río Pisco con una altitud de 630 m.s.n.m., esta registra los caudales medios diarios del río Pisco.

Para la presente investigación, se tomó en consideración los caudales máximos anuales comprendidos entre los años 1933 hasta 2019. En la tabla 1, se observa los valores de caudales máximos por año.

**Tabla 1**

*Datos de caudal máximo anual del río Pisco (1933-2019) en m<sup>3</sup>/s*

<i>AÑO</i>	<i>Q(M3/S)</i>	<i>AÑO</i>	<i>Q(M3/S)</i>
<i>1933</i>	<i>187.17</i>	<i>1977</i>	<i>231.26</i>
<i>1934</i>	<i>215.01</i>	<i>1978</i>	<i>80.33</i>
<i>1935</i>	<i>250.01</i>	<i>1979</i>	<i>213.13</i>
<i>1936</i>	<i>287.27</i>	<i>1980</i>	<i>91.23</i>
<i>1937</i>	<i>735.49</i>	<i>1981</i>	<i>252.00</i>
<i>1938</i>	<i>206.89</i>	<i>1982</i>	<i>274.00</i>
<i>1939</i>	<i>263.31</i>	<i>1983</i>	<i>273.00</i>
<i>1940</i>	<i>132.86</i>	<i>1984</i>	<i>485.65</i>
<i>1941</i>	<i>175.69</i>	<i>1985</i>	<i>200.50</i>
<i>1942</i>	<i>261.90</i>	<i>1986</i>	<i>355.00</i>
<i>1943</i>	<i>243.19</i>	<i>1987</i>	<i>146.20</i>
<i>1944</i>	<i>238.01</i>	<i>1988</i>	<i>369.50</i>
<i>1945</i>	<i>204.11</i>	<i>1989</i>	<i>272.50</i>
<i>1946</i>	<i>413.44</i>	<i>1990</i>	<i>49.38</i>
<i>1947</i>	<i>124.39</i>	<i>1991</i>	<i>325.00</i>

---

<i>1948</i>	<i>591.79</i>	<i>1992</i>	<i>47.75</i>
<i>1949</i>	<i>127.53</i>	<i>1993</i>	<i>118.00</i>
<i>1950</i>	<i>133.60</i>	<i>1994</i>	<i>312.50</i>
<i>1951</i>	<i>233.52</i>	<i>1995</i>	<i>354.37</i>
<i>1952</i>	<i>172.52</i>	<i>1996</i>	<i>190.00</i>
<i>1953</i>	<i>337.47</i>	<i>1997</i>	<i>231.00</i>
<i>1954</i>	<i>419.84</i>	<i>1998</i>	<i>800.00</i>
<i>1955</i>	<i>319.57</i>	<i>1999</i>	<i>355.00</i>
<i>1956</i>	<i>265.06</i>	<i>2000</i>	<i>215.00</i>
<i>1957</i>	<i>208.76</i>	<i>2001</i>	<i>228.00</i>
<i>1958</i>	<i>143.40</i>	<i>2002</i>	<i>300.00</i>
<i>1959</i>	<i>306.64</i>	<i>2003</i>	<i>176.25</i>
<i>1960</i>	<i>251.40</i>	<i>2004</i>	<i>215.00</i>
<i>1961</i>	<i>220.69</i>	<i>2005</i>	<i>137.50</i>
<i>1962</i>	<i>334.25</i>	<i>2006</i>	<i>287.50</i>
<i>1963</i>	<i>208.50</i>	<i>2007</i>	<i>250.00</i>
<i>1964</i>	<i>195.40</i>	<i>2008</i>	<i>225.00</i>
<i>1965</i>	<i>138.20</i>	<i>2009</i>	<i>210.00</i>
<i>1966</i>	<i>550.34</i>	<i>2010</i>	<i>197.50</i>
<i>1967</i>	<i>408.75</i>	<i>2011</i>	<i>375.00</i>
<i>1968</i>	<i>158.27</i>	<i>2012</i>	<i>462.50</i>
<i>1969</i>	<i>252.33</i>	<i>2013</i>	<i>307.50</i>
<i>1970</i>	<i>357.87</i>	<i>2014</i>	<i>310.00</i>
<i>1971</i>	<i>162.29</i>	<i>2015</i>	<i>290.00</i>
<i>1972</i>	<i>399.69</i>	<i>2016</i>	<i>215.00</i>
<i>1973</i>	<i>236.93</i>	<i>2017</i>	<i>345.00</i>
<i>1974</i>	<i>162.46</i>	<i>2018</i>	<i>455.00</i>
<i>1975</i>	<i>122.72</i>	<i>2019</i>	<i>231.00</i>
<i>1976</i>	<i>237.62</i>		

---

*Nota.* Información al 30 de diciembre del 2019. Adaptado de “Registro de descargas máxima diaria del Rio Pisco”, por ANA, 2023( <https://snirh.ana.gob.pe/snirh/>).

Dentro de los datos obtenidos, se puede observar que el caudal máximo fue de 800.00 m<sup>3</sup>/s ocurrido en el año 1998 mientras que el caudal mínimo fue de 47.75 m<sup>3</sup>/s en el año 1992.

### 3.1.1 Cálculo del caudal de diseño

Con la ayuda del programa River se procede a realizar el cálculo de diseño, para lo cual consideraremos un tiempo de retorno de 50 y 100 años.

Al ingresar al programa se escoge el ítem de caudal de diseño (Figura 5). Para calcular dicho caudal este programa toma en cuenta el uso de tres métodos, los cuales son: Método estadístico, método empírico y caudal instantáneo.

En esta investigación utilizaremos el método estadístico, debido a los datos cuantitativos que contamos a disposición de la estación Letrayoc.

## Figura 5

*Primer paso para el cálculo de diseño*

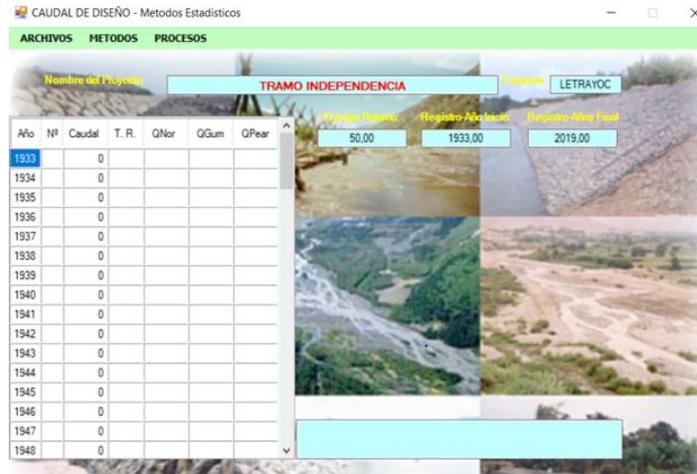


*Nota.* En la figura se muestra los tres métodos que el programa River considera para realizar el cálculo de Diseño.

Se necesita ingresar los datos básicos para la ejecución del programa (Figura 6).

**Figura 6**

*Datos básicos del proyecto a ejecutar*

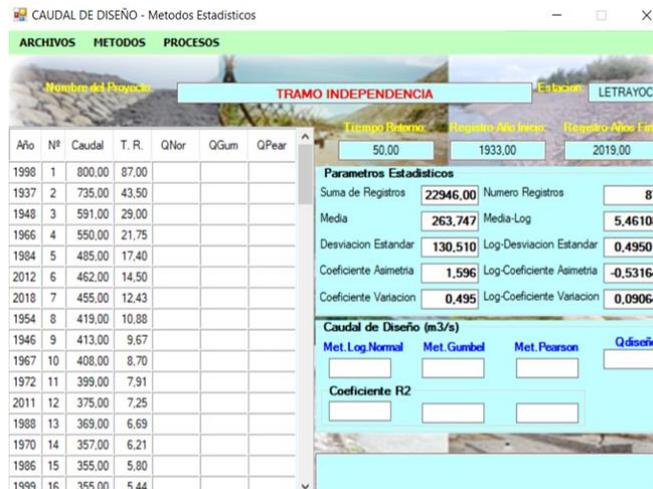


*Nota.* En la figura se muestra los datos básicos como el Nombre del proyecto el cual es Tramo Independencia, la estación de estudio, la cual es Letrayoc y el periodo de retorno. Para este estudio se considera para 50 y 100 años y el registro del año del caudal.

Se procede a ingresar los datos de caudales desde el año 1933 al 2019 en m<sup>3</sup>/s. Luego del ingreso de información, el programa seleccionara la información para el cálculo de parámetros estadísticos (Figura 7).

**Figura 7**

*Muestra de los datos estadísticos e información de los caudales*



*Nota.* En la figura se muestra los parámetros estadísticos y los caudales máximos por cada año a evaluar.

Luego de escoger el método estadístico, el programa nos permite seleccionar entre tres métodos probabilísticos los cuales son: Logarítmica normal, Gumbel y Pearson III.

La figura 8, muestra los tres métodos a evaluar a utilizar en la investigación.

### Figura 8

*Los tres métodos para calcular el caudal en el software River*

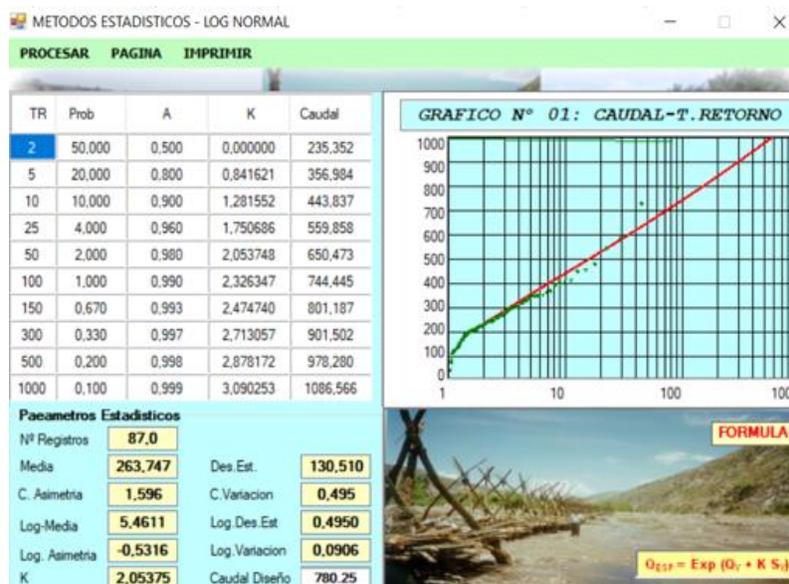


*Nota.* En la figura se muestra el programa River y los métodos a utilizar.

Para el primer caso, se escoge el método Log. Normal para poder procesar la información como se muestra en la figura 9 para un periodo de retorno de 50 años.

### Figura 9

*Resultados del método Log. normal*

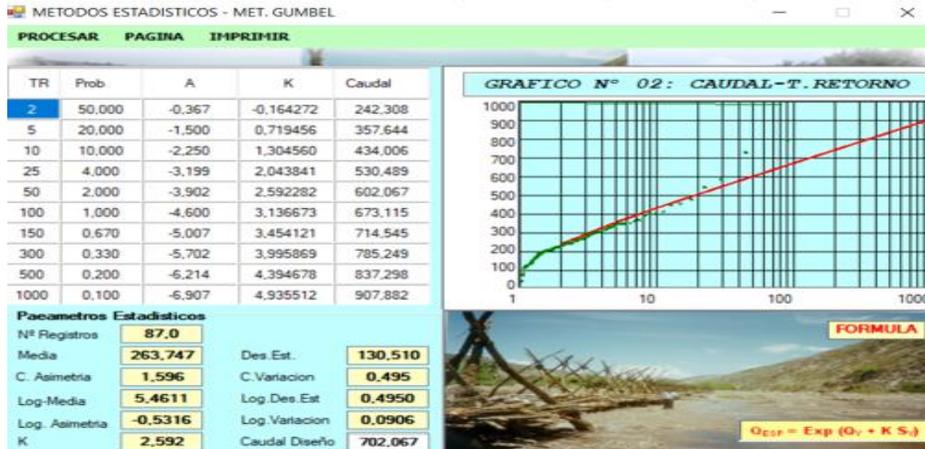


*Nota.* En la figura se observa el caudal de diseño para un periodo de retorno de 50 años.

Para el segundo caso, se escoge el método Gumbel para poder procesar la información como se muestra en la figura 10, de igual manera para un periodo de retorno de 50 años.

**Figura 10**

*Resultados del método Gumbel*

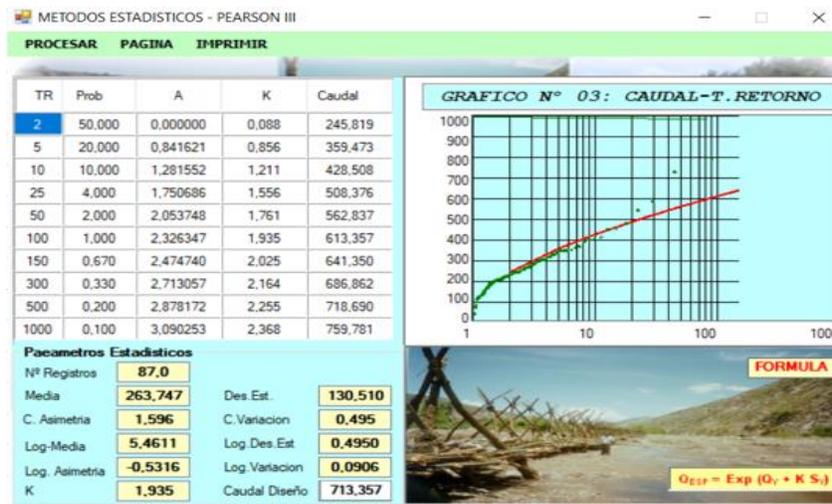


*Nota.* En la imagen se muestra el caudal de diseño para un periodo de retorno de 50 años.

Para el tercer caso, se escoge el método Pearson III para poder procesar la información como se muestra en la figura 11 y de igual manera para un periodo de retorno de 50 años.

**Figura 11**

*Resultados del método Pearson III*

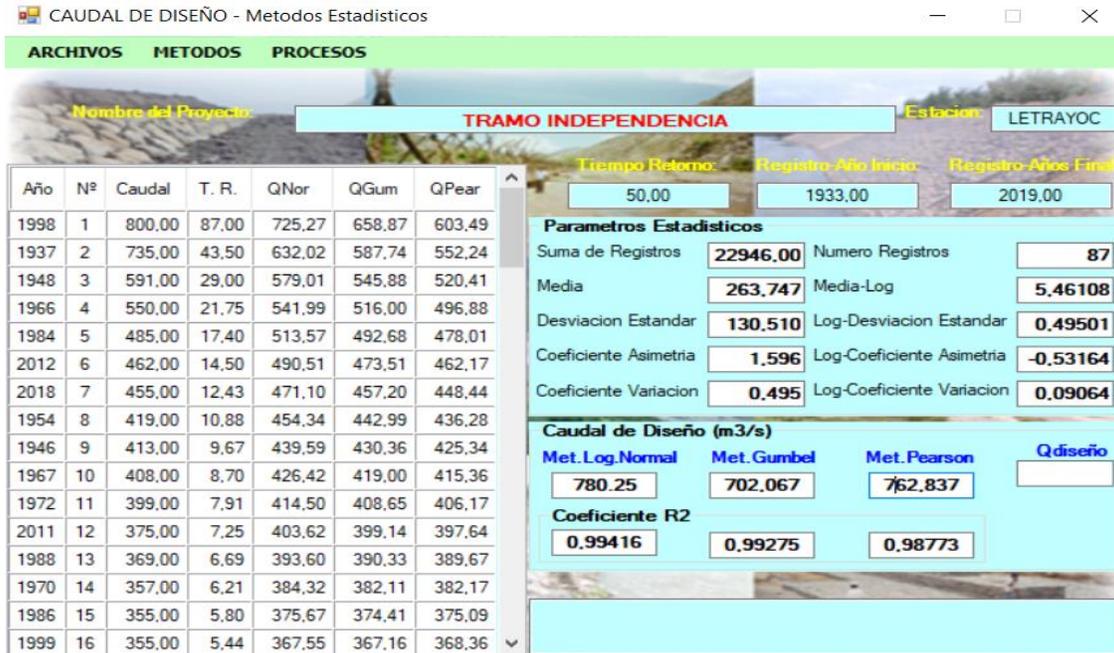


*Nota.* En la imagen se muestra el caudal de Diseño para un periodo de retorno de 50 años.

El programa define el caudal de diseño para los tres métodos probabilísticos, para lo cual se trabaja con el mayor caudal. En la figura 12, se muestra el resultado del caudal mayor para un periodo de retorno de 50 años el cual es de 780.25 m<sup>3</sup>/s del método Log. Normal.

**Figura 12**

*Resultados de los tres métodos de diseño para un periodo de retorno de 50 años*

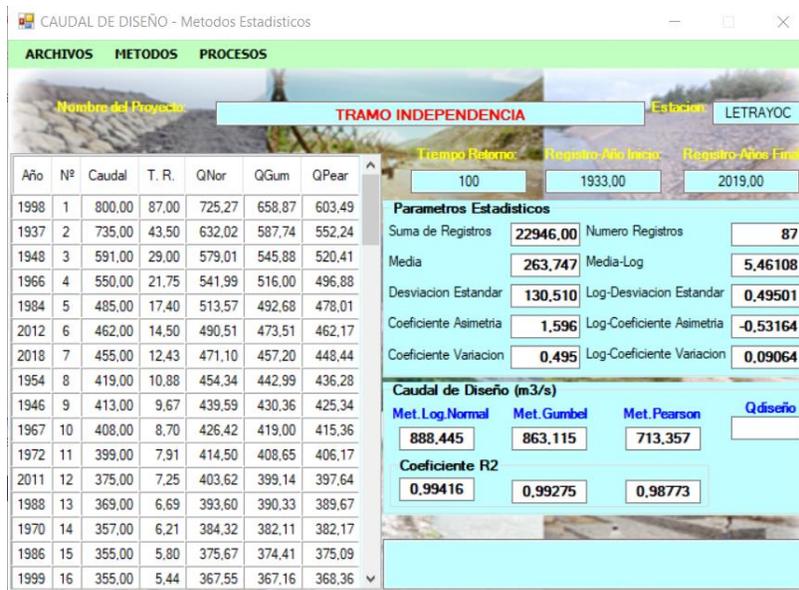


*Nota.* La figura muestra los tres métodos estadísticos con el resultado de su mayor caudal.

De igual manera, se procede a realizar los mismos pasos, pero esta vez para el cálculo de diseño en un periodo de retorno de 100 años el cual nos da como resultado 888.45 m<sup>3</sup>/s tal como se observa en la figura 13.

**Figura 13**

*Resultados de los tres métodos de diseño para un periodo de retorno de 100 años*



Nota. La figura muestra los tres métodos estadísticos con el resultado de su mayor caudal.

La tabla 2 muestra el resumen de los caudales de los tres métodos utilizados con los distintos periodos de retorno.

**Tabla 2**

*Tabla comparativa de caudales utilizando los tres métodos propuestos con distintos periodos de retorno (m³/s)*

Método	Caudal (m³/s) para un período de retorno de 50 años	Caudal (m³/s) para un período de retorno de 100 años
Log. Normal	780.250	888.445
Gumbel	702.067	863.115
Pearson	762.837	713.357

Para lo cual en esta investigación se considera para el periodo de 50 y 100 años los valores aproximados de 800 m³/s y 900m³/s respectivamente.

### 3.2 Determinar la clasificación e identificación del tipo de suelo la zona de estudio.

#### 3.2.1 Estudio de Suelos

### 3.2.1.1. Recopilación de información de campo

Para la toma de muestra de suelo se realizaron 5 calicatas con una profundidad de 3.50 metros (Tabla 3). Este muestreo fue realizado en el dique proyectado.

**Tabla 3**

*Perfil estratigráfico de calicatas para el Tramo Independencia*

TIPO DE SONDAJE	PROGRESIVA	PROFUNDIDAD (M)	DESCRIPCION DEL MATERIAL
CALICATA	0+000	0.20	Arena mal graduada, de color gris claro, no cohesivo, sin plasticidad, en estado semi suelto.
		3.50	Grava mal graduada con limo y arena de color gris claro, con 51.73% de grava, 38.03% de arena, 10.25% de fino no plástico, con humedad de 1.42%
CALICATA	0+200	2.60	Grava mal graduada con limo y arena de color gris claro, con 49.42% de grava, 42.65% de arena, 7.93% de fino no plástico, con humedad de 2.41%.
		3.50	Arena mal graduada, de color gris claro, no cohesivo, sin plasticidad, en estado semi suelto, presencia de raíces.
CALICATA	0+400	0.50	Arena mal graduada con grava, de color gris claro, no cohesivo, sin plasticidad, en estado semi suelto, presencia de raíces.

		3.50	Grava mal graduada con limo y arena de color gris claro, no cohesivo, si plasticidad, en estado semi suelto.
		0.80	Arena mal graduada con grava, de color gris claro, no cohesivo, sin plasticidad, en estado semi suelto.
CALICATA	0+800	3.50	Grava mal graduada con limo y arena de color gris claro, con 51.55% de grava, 47.085 de arena, 7.37% de fino no plástico, con humedad de 2.46%
		0.60	Arena mal graduada con limo y grava de color gris claro, con 45.55% de grava, 47.08% de arena, 7.37% de fino no plástico, con humedad de 2.80%.
CALICATA	1+000	3.50	Arena mal graduada con grava, de color gris claro, no cohesivo, sin plasticidad, en estado semi suelto, presencia de grava de ¼” a 3” en 32%, presencia de bolonería de 4” a 12” en 15%.

*Nota.* Información del tipo de suelo ubicado en el Tramo Independencia

### 3.2.1.2. Nivel Freático

Se encuentra localizado en el eje del dique propuesto. Sus niveles de aguas profundas son superiores a los 2 metros.

### 3.2.1.3. Resultados de los ensayos de laboratorio

En esta parte se evidencian los resultados obtenidos de las propiedades físicas y mecánicas del material extraído in situ.

Como se observa en el perfil estratigráfico, los suelos estudiados se componen principalmente de material mal graduado y que a su vez contienen material limoso arenoso.

#### 3.2.1.4. Capacidad admisible de la zona de estudio

En base a la investigación, se determinó la capacidad de carga permitida en función de las propiedades del suelo. De igual manera, se determinó las posibles dimensiones del dique propuesto.

La capacidad de carga se determinó mediante la fórmula de Terzaghi – Peck, modificada por Vesic (Ecuación 1):

$$q_{adm} = (c \times N_c \times F_{cs} \times F_{cd} \times F_{ci} + q \times N_q \times F_{qs} \times F_{qd} \times F_{qi} + 0.5 \times \gamma \times B \times N_\gamma \times F_{\gamma s} \times F_{\gamma d} \times F_{\gamma i})$$

Donde:

$q_{adm}$  = Capacidad admisible de carga.

$c$  = Cohesión del suelo.

$\gamma$  = Peso unitario del suelo.

$B$  = Ancho de cimentación.

$N_c, N_q, N_\gamma$  = Parámetros de capacidad portante en función de  $\phi$ .

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$  = Factores de Forma (Vesic,1979).

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$  = Factores de profundidad.

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$  = Factores de inclinación.

El cálculo de asentamiento se desarrolla de la premisa de que se transmitirá al suelo de fundación la máxima carga que este es capaz de absorber y se basa en el método propuesto por el protocolo normativo AASHTO LRFD, el cual se sustenta en la ecuación 2:

$$S_a = \frac{(q_0(1 - \nu^2)\sqrt{A})}{\epsilon_s \beta_z}$$

Donde:

$q_0$  = Intensidad de la carga aplicada ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )

$V$  = Coeficiente de Poisson, (adimensional)

$A$  = Área de la zona ( $\text{m}^2$ )

$\epsilon_s$  = Modulo de Young

$\beta_z$  = Factor de forma considerado (adimensional)

Resolviendo las ecuaciones con los parámetros indicados para cada una de las estructuras, se obtiene los resultados de capacidad de carga y asentamientos, que se presentan en la tabla 4 y tabla 5 El parámetro  $q_0$  = intensidad de la carga aplicada, según el metrado de carga de los diques es de  $0.56 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ .

**Tabla 4**

*Capacidad admisible y asentamiento Tramo Independencia*

CALICATA	SUCS	LIMITE DE CONSISTENCIA			COHESION	ANGULO DE FRICCION (P)	DENSIDAD SECA ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	$q_{adm}$ ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )	ASENTAMIENTO
		LL	LP	IP					
CALICATA 1	GP-GM	NP	NP	NP	0.039	27.35	1.665	3.72	0.22
CALICATA 2	GP-GM	NP	NP	NP	0.074	25.94	1.706	3.53	0.22
CALICATA 3	GP-GM	NP	NP	NP	0.071	26.15	1.566	3.21	0.22
CALICATA 4	GP-GM	NP	NP	NP	0.053	27.09	1.686	3.94	0.22
CALICATA 5	GP-GM	NP	NP	NP	0.042	24.20	1.702	2.80	0.47

**Tabla 5**

*Evaluación geotécnica de la cimentación*

CALICATA	PROF. (m)	SUCS	LIMITE DE CONSISTENCIA			HUMEDA D (%)	RESISTENCIA AL CORTE	ASENTAMIENTO	qadm (Kg/cm <sup>2</sup> )	N.F (m)
			LL	LP	IP					
CALICATA 1	0.00 - 0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.20 - 3.50	GP-GM	NP	NP	NP	1.42	BUENA	BAJO	3.72	2.20
CALICATA 2	0.00 - 2.60	GP-GM	NP	NP	NP	2.41	BUENA	BAJO	3.53	0.90
	2.60 - 3.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CALICATA 3	0.00 - 0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.50 - 3.50	GP-GM	NP	NP	NP	2.89	BUENA	BAJO	3.21	2.20
CALICATA 4	0.00 - 0.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.80 - 3.50	GP-GM	NP	NP	NP	2.46	BUENA	BAJO	3.94	2.10
CALICATA 5	0.00 - 0.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.60 - 3.50	SP-SM	NP	NP	NP	2.80	BUENA	BAJO	2.80	2.40

Así mismo, se concluye que el Tramo de Independencia también presenta el tipo de suelo predominante clasificado como GP-GM (grava mal gradada y grava limosa con arena), con el nivel freático que varía entre 0.9 a 2.40 m, el coeficiente de permeabilidad es bajo, la capacidad admisible esta entre 2.80 a 3.94 kg/cm<sup>2</sup> y un asentamiento de 1.24 a 2.37 cm, para un ancho de base de 2.00m.

### 3.3 Diseño de una defensa utilizando el software River

#### 3.3.1. Cálculo de la defensa enrocada

Dentro del software River se tienen dos tipos de diseño de obras, los cuales son espigones y laterales. Para este estudio utilizaremos el tipo de defensa enrocada lateral, debido a la zona donde nos encontramos.

En la figura 14 se muestra que, para el primer paso de diseñar la defensa ribereña, debemos seleccionar en el software River la pestaña Defensa enrocada – Laterales.

## Figura 14

*Primer paso para el diseño de Defensa enrocadas*



*Nota.* En la imagen se muestra el primer paso en el software River.

### 3.3.1.1 Dimensionamiento del dique lateral

Para iniciar con el cálculo del dimensionamiento, ingresaremos los datos obtenidos anteriormente. Primero ingresaremos para un período de retorno de 50 años, el caudal seleccionado será de 800 m<sup>3</sup>/s y se utilizará una pendiente de 1.301%.

En la figura 15, se observa el ingreso de datos para comenzar con el diseño de la defensa hidráulica.

## Figura 15

*Ingreso de datos básicos*



*Nota.* Podemos observar los datos básicos para el cálculo de defensa enrocada en el software River.

Para el cálculo del ancho estable del cauce (B), el software River considera cinco métodos los cuales evaluaremos para un periodo de retorno de 50 y 100 años. En la figura 16 se muestran los cinco métodos utilizados para el cálculo del ancho estable del cauce los cuales son: Recomendación práctica, Método de Petits, Método de Simons y Henderson, Método de Blench y Altunin y el Método de Manning y Strickler.

**Figura 16**

*Método para calcular el ancho estable del cauce (B)*



*Nota.* Se muestra los cinco métodos a considerar para el ancho estable del río.

La figura 17 muestra los resultados obtenidos para un caudal (Q) de 800 m<sup>3</sup>/s y con un periodo de retorno de 50 años utilizando el método de recomendación práctica.

**Figura 17**

*Método Recomendación Práctica*



*Nota.* Resultados de los cálculos por el método de recomendación práctica.

El siguiente método a utilizar es el de Petits, para el cual se usarán los mismos datos de Q: 800 m<sup>3</sup>/s y periodo de retorno de 50 años (Figura 18).

**Figura 18**

*Método de Petits*



*Nota.* Resultados de los cálculos por el método de Petits.

El tercer método a utilizar es el de Simons y Henderson, para el cual se usarán los mismos datos de Q: 800 m<sup>3</sup>/s y periodo de retorno de 50 años (Figura 19).

**Figura 19**

*Método de Simons y Henderson*



*Nota.* Resultados de los cálculos por el método de Simons y Henderson.

El cuarto método a utilizar es el de Blench y Atunin, para el cual se usarán los mismos datos de Q: 800 m<sup>3</sup>/s y periodo de retorno de 50 años (Figura 20).

**Figura 20**

*Método de Blench y Atunin*



*Nota.* Resultados de los cálculos por el método de Blench y Atunin.

El último método a utilizar es el de Manning y Strickler, para el cual se usarán los mismos datos de Q: 800 m<sup>3</sup>/s y periodo de retorno de 50 años (Figura 21).

**Figura 21**

*Método de Manning y Strickler*

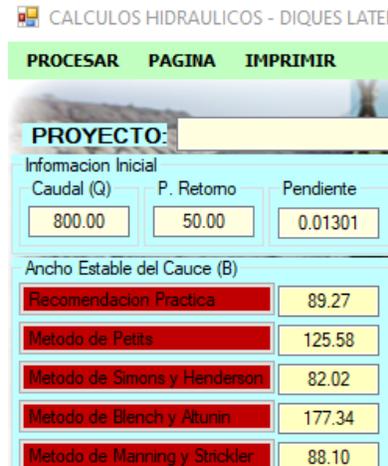


*Nota.* Resultados de los cálculos por el método de Manning y Strickler.

Por último, se presentará el resultado de los cinco métodos realizados para un periodo de retorno de 50 años (Figura 22).

**Figura 22**

*Resultados de todos los métodos en un periodo de retorno de 50 años*

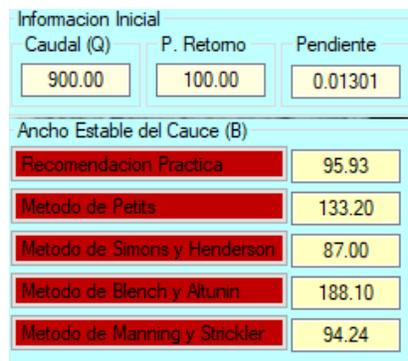


*Nota.* Luego de analizar los resultados obtenidos, se puede apreciar que por el método de Blench y Altunin nos da un mayor ancho estable con un valor de 177.34.

De igual manera, se realizan los cálculos usando los cinco métodos para un periodo de retorno de 100 años. La figura 23, muestra el cuadro resumen de los métodos utilizados.

**Figura 23**

*Resultados de todos los métodos en un periodo de retorno de 100 años*



*Nota.* De los métodos realizados, se obtiene que el método de Blench y Altunin nos da un mayor ancho estable con un valor 188.10.

En la tabla 6 se evidencia el resumen de los cinco métodos para los distintos tipos de caudales y su respectivo tiempo de retorno.

**Tabla 6**

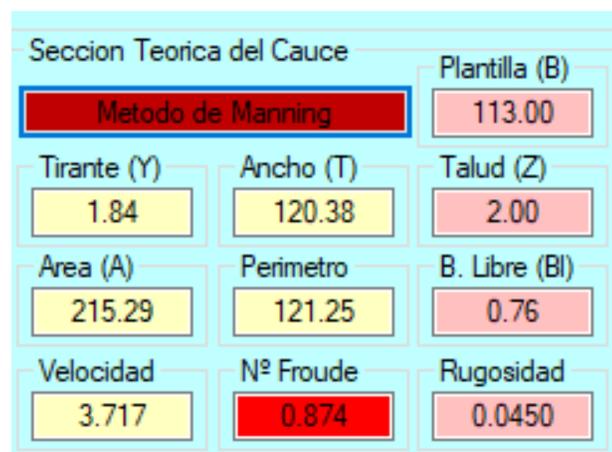
*Tabla resumen de ancho entable para un período de retorno de 50 y 100 años*

Método	Ancho (m) (Q=800 m <sup>3</sup> /s) para un período de retorno de 50 años	Ancho (m) (Q=900 m <sup>3</sup> /s) para un período de retorno de 100 años
Recomendación práctica	89.27m	95.93m
Método de Pettits	125.58m	133.20m
Método Simins y Henderson	82.02m	87.00m
Método de Blench y Altunin	177.34m	188.10m
Método Manning y Strickler	88.10m	94.24m

Mediante el uso del método de Manning, se calcula los elementos hidráulicos necesarios para el diseño del dique (Figura 24).

**Figura 24**

*Resultados de sección teórica del cauce utilizando el método de Manning*



*Nota.* Se muestra los resultados para la sección teórica del cauce.

En la figura 25, se muestra las dimensiones del dique las cuales según el software River existen dos tipos de forma, la recta y la curva. De igual manera, se debe escoger el tipo de suelo los cuales existen dos tipos, cohesivos y no cohesivos. Por último, se debe ingresar el diámetro de la partícula (mm) y el radio de curva.

**Figura 25**

*Resultados de dimensiones del dique*

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
16.26	482.00
Metodo de U. List Van Levediev	
Dique en Recta	Dique en Curva
Tirante de Socavacion (m)	Tirante de Socavacion (m)
3.19	4.09
Profundidad de Socavacion (m)	
1.34	2.24
Altura de Uña	
1.40	2.30
Altura de Dique	
2.60	2.60
Altura Total (m)	
4.00	4.90

*Nota.* En la figura se observa los resultados de la profundidad de socavación, altura de uña, altura de dique y altura total.

El software River nos permite tener un diseño preliminar el cual se muestra en la figura 26. Este programa calcula el ancho de corona, la altura del dique, altura de enrocado, altura uña y ancho de uña, para ambos diques, recto y curvo.

**Figura 26**

*Diseño preliminar sugerido*

Diseño Preliminar Sugerido		
	D.Recto	D.Curva
Ancho Corona (m)	4.00	4.00
Altura Dique (m)	2.60	2.60
Altura Enrocado	2.60	2.60
Altura Uña (m)	1.40	2.30
Ancho de Uña (m)	2.10	3.40
Altura Total (m)	4.00	4.90

*Nota.* En la imagen apreciamos el diseño de dique preliminar para un dique recto y un dique curvo.

### 3.3.1.2 Dimensionamiento del enrocado

Para el cálculo del dimensionamiento del enrocado se utilizarán dos fórmulas, estas son las de Isbash y Maynard. Por efectos de cálculo de software, considera que el diámetro de la roca es el promedio de los datos del programa. La figura 27 muestra el dimensionamiento del dique enrocado.

**Figura 27**

*Dimensionamiento del enrocado*



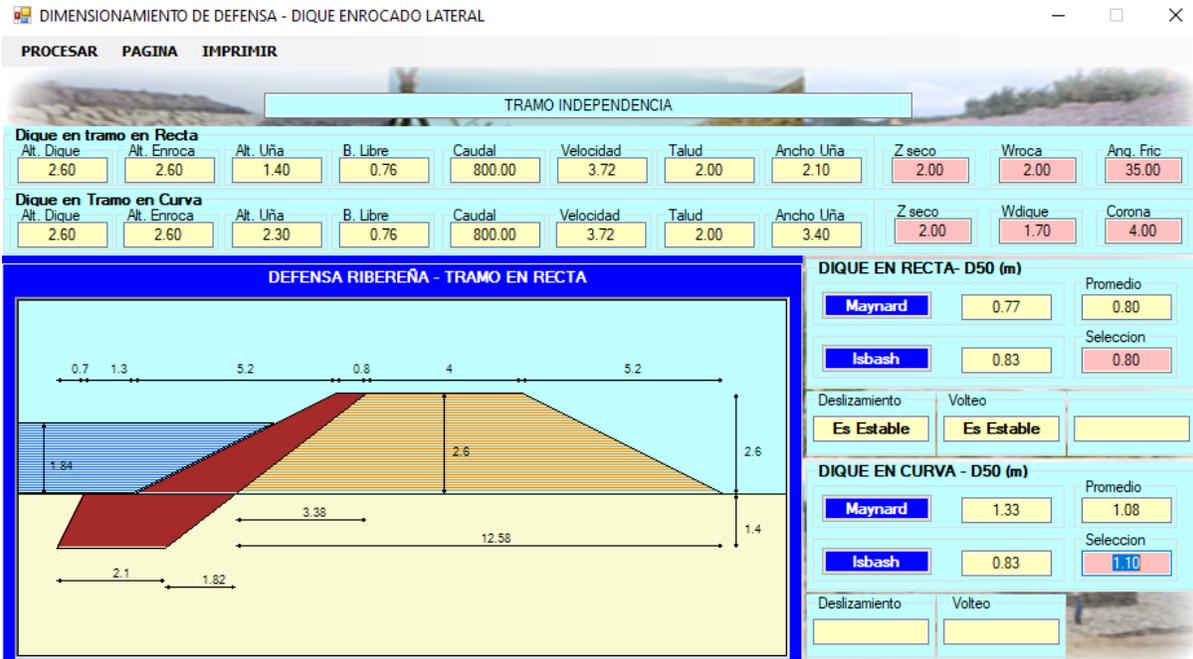
*Nota.* En la figura se muestra los resultados utilizando la fórmula de Isbash y Maynard.

### 3.3.1.3 Diseño final de defensa enrocada

La figura 28 y 29 muestran el dimensionamiento de la defensa en forma recta y curva. En ambos casos, se comprueba la estabilidad del dique ya sea por deslizamiento o volteo.

**Figura 28**

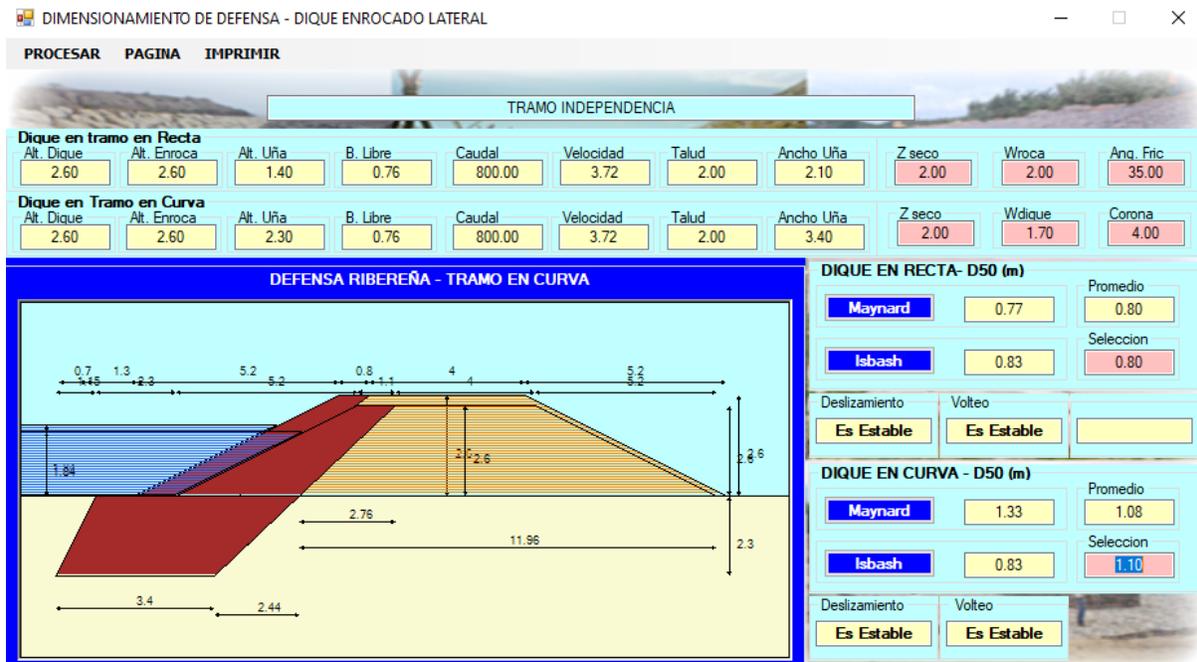
*Dimensionamiento del tramo recto*



Nota. se muestra el dimensionamiento del dique enrocado de forma recta.

Figura 29

Dimensionamiento del tramo curva



Nota. se muestra el dimensionamiento del dique enrocado de forma curva.

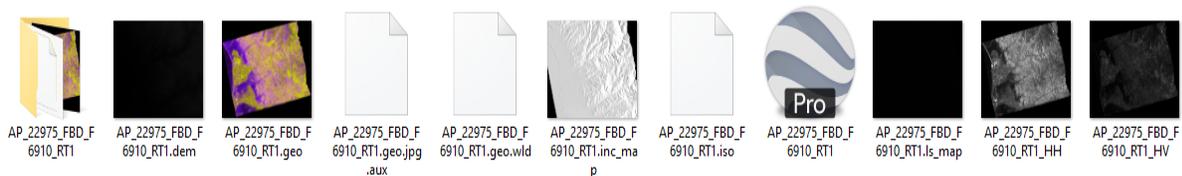


*Nota.* Se muestra dos zonas donde está ubicado el proyecto a realizar, donde escogeremos la zona que abarca más terreno de la zona de estudio.

Para lo cual contamos con la información del terreno en DEM, para el modelamiento hidráulico se proporciona la información de la descarga del satélite Alos Palsar (Figura 31).

**Figura 31**

*Datos obtenidos del satélite Alos Palsar*



*Nota.* Es importante crear una carpeta aparte, para no mezclar información obtenida en el Hec Ras.

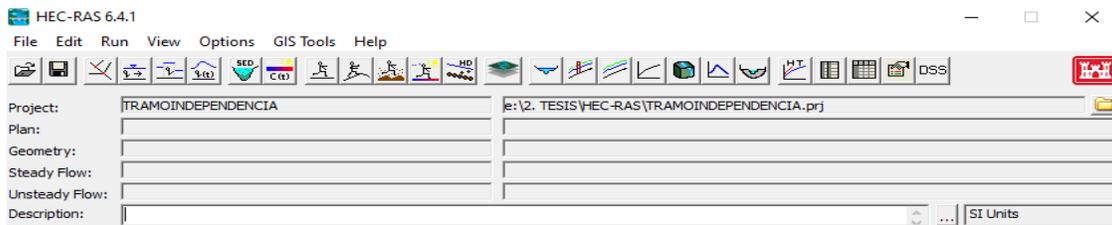
### 3.4.2 Modelamiento en Hec Ras

Utilizando el Hec ras se procede a realizar el modelamiento del Tramo de Independencia, para lo cual se debe configurar el programa antes de proceder a modelar, según se muestra en la figura 32.

- El primer paso para el modelamiento, será guardar el proyecto con el nombre de “TRAMO INDEPENDENCIA” en la carpeta asignada.
- El segundo paso se deberá cambiar al Sistema Métrico

**Figura 32**

*Primera configuración del software Hec-Ras*

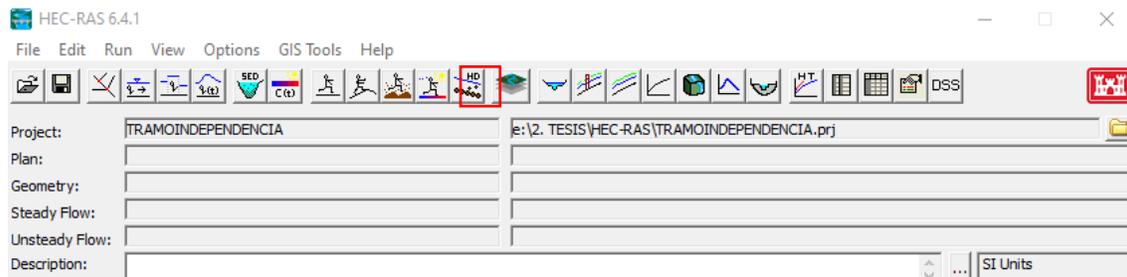


*Nota.* En el nombre del proyecto no se consideró algún espacio, para así poder evitar algún inconveniente en el software.

Luego procedemos ir a la opción Open RAS Mapper, según la figura 33.

### Figura 33

#### Opción Ras Mapper



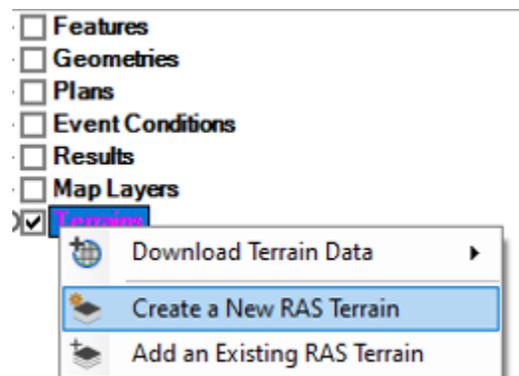
*Nota.* En la figura podemos observar la opción Ras Mapper donde utilizaremos el DEM descargado.

Se habilitará la siguiente ventana donde se realizará los siguientes pasos:

Ir a la opción Terrains, dar click derecho y crear un nuevo terreno en la opción “Create a New RAS Terrain” como se muestra en la figura 34.

### Figura 34

#### Creación de un nuevo terreno

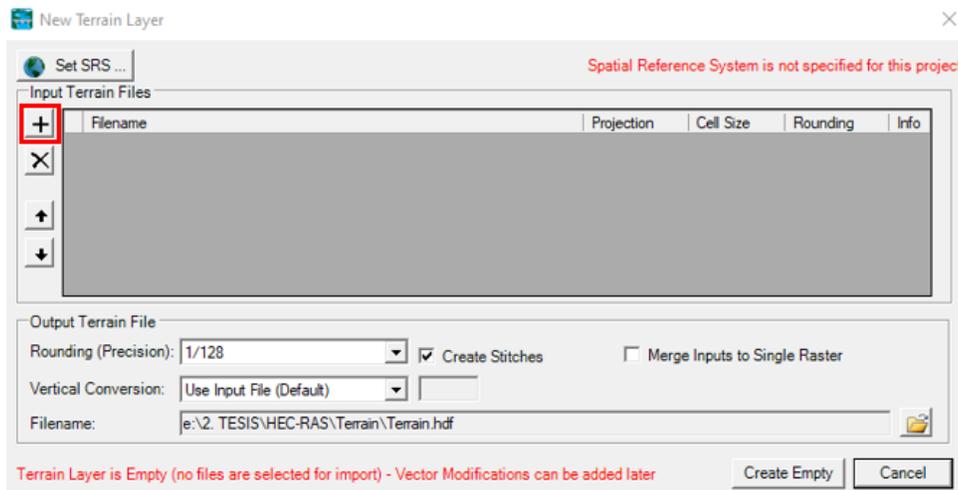


*Nota.* En la figura se muestra los pasos para crear un nuevo terreno a modelar.

Luego se mostrará una pantalla donde adicionaremos en el signo (+) los datos de nuestro DEM anteriormente extraído del satélite Alos Palsar, como se muestra en la figura 35.

## Figura 35

*Añadir DEM del Terreno a modelar*

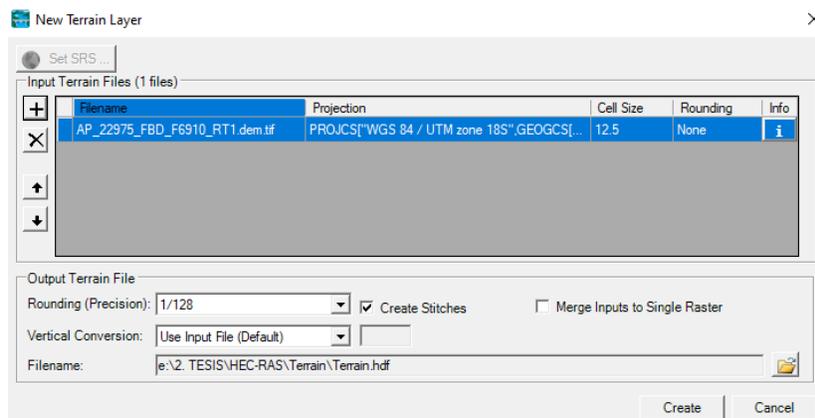


*Nota.* Se muestra en la figura, donde añadiremos el DEM descargado del satélite Alos Palsar.

Donde escogeremos el DEM anteriormente descargado, como se muestra en la figura 36.

## Figura 36

*Archivo de terreno de entrada*

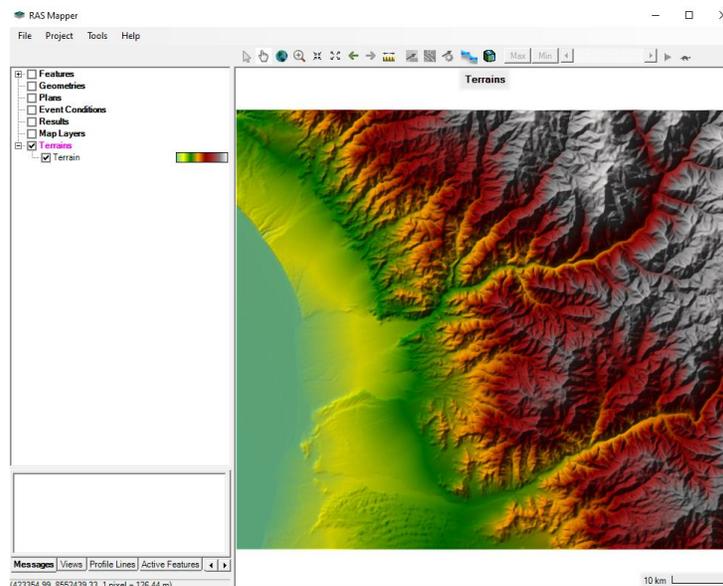


*Nota.* La figura nos muestra en que zona pertenece el proyecto el cual está en la zona 18S, además para este modelamiento debemos tener en cuenta que los datos están separados a 12.5 metros del siguiente dato, lo cual es una desventaja para los resultados a obtener.

Luego, se procederá a crear el nuevo terreno, obteniendo lo que se muestra en la figura 37.

## Figura 37

### *DEM del tramo de Independencia*



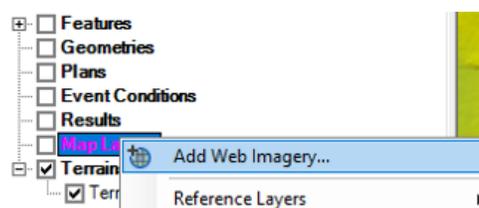
*Nota.* Se observa en la figura el cuadrante donde se ubica la zona de estudio.

Para poder tener una mejor visualización de nuestra zona de estudio, se adjuntará la imagen satelital obtenida cuando descargamos el DEM.

Acto seguido, se irá al apartado Map Layers, click derecho Add Web Imagery, como se muestra en la figura 38.

## Figura 38

### *Añadir imagen satelital al terreno*

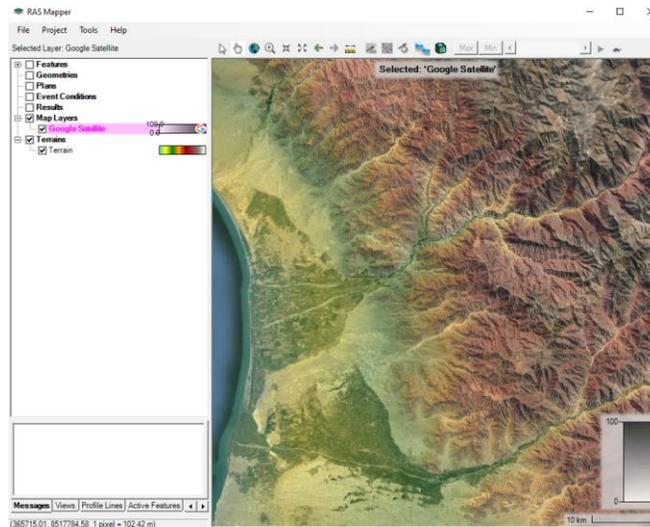


*Nota.* Al momento de seleccionar la opción Add Web Imagery, seleccionaremos la opción Google Satellite.

Para poder guiarnos correctamente con nuestro nivel de terreno, a la imagen satelital procederemos a bajarle la opacidad, según se muestra en la figura 39.

### Figura 39

#### *Imagen satelital con DEM*



*Nota.* Para la opacidad se considera a un 70%, debido a que la imagen satelital será una guía para el modelamiento hidráulico de nuestra zona.

Para iniciar con el modelamiento hidráulico, se observa que el río Pisco se caracteriza por ser un río trezado, por lo cual para este tipo de río se debería tomar en cuenta el arrastre de sedimentos, sin embargo, para esta modelación no se tomará en cuenta porque se busca realizar el comportamiento del río en óptimas condiciones, según se muestra en la figura 40.

### Figura 40

#### *Río Pisco -Tramo de Independencia*

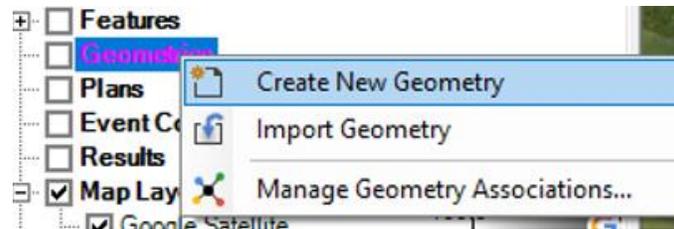


*Nota.* Se muestra en la figura el río Pisco – tramo Independencia.

Se procederá a crear una nueva geometría, para ello se escoge la opción Geometries luego dar click derecho en la opción Create New Geometry, como se muestra en la figura 41.

### **Figura 41**

*Crear nueva geometría*



*Nota.* Se muestra los pasos a seguir para la creación de la malla de la zona de estudio

Lo cual, luego de haberse creado la malla procederemos a editar los valores (figura 42)

### **Figura 42**

*Opciones para editar la geometría*

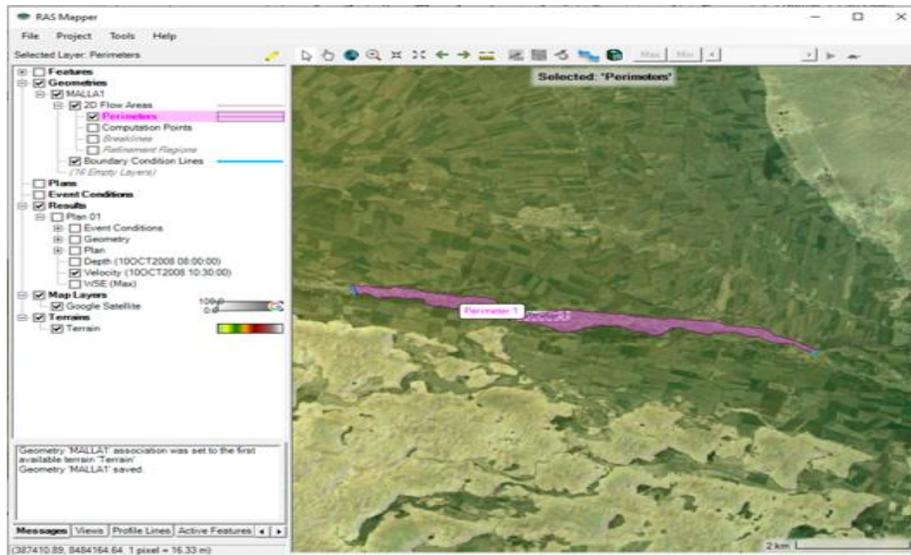


*Nota.* En esta opción podremos editar el valor de Manning, infiltración, entre otros valores.

Se procede a realizar la delimitación del área de flujo, en la opción 2D Flow Areas – Perimeters (Figura 43)

### **Figura 43**

*Creación de perímetro del Tramo Independencia*



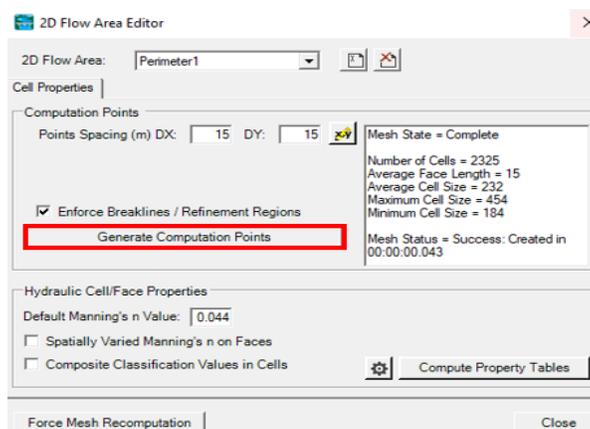
*Nota.* Se aprecia en la figura el proceso de selección de la zona de estudio

Después de procederá a delimitar los espacios de la malla, lo cual se considera un valor de 15 para realizar este enmallado, debido a que no se podría trabajar con mallas menores dado que el espacio obtenido del DEM es de 12.5. Para el coeficiente de Manning se está considerando un valor de 0.044, el cual determina un factor altamente rugoso.

Luego de poner los valores correspondientes procedemos a generar los cuadrantes como se muestra en la figura 44.

### Figura 44

#### *Editor de área de flujo*



*Nota.* Se debe colocar los datos antes de poder generar el enmallado.

Después de colocar los datos se procede a generar el enmallado del tramo Independencia, como se muestra en la figura 45.

### **Figura 45**

*Enmallado del tramo Independencia*

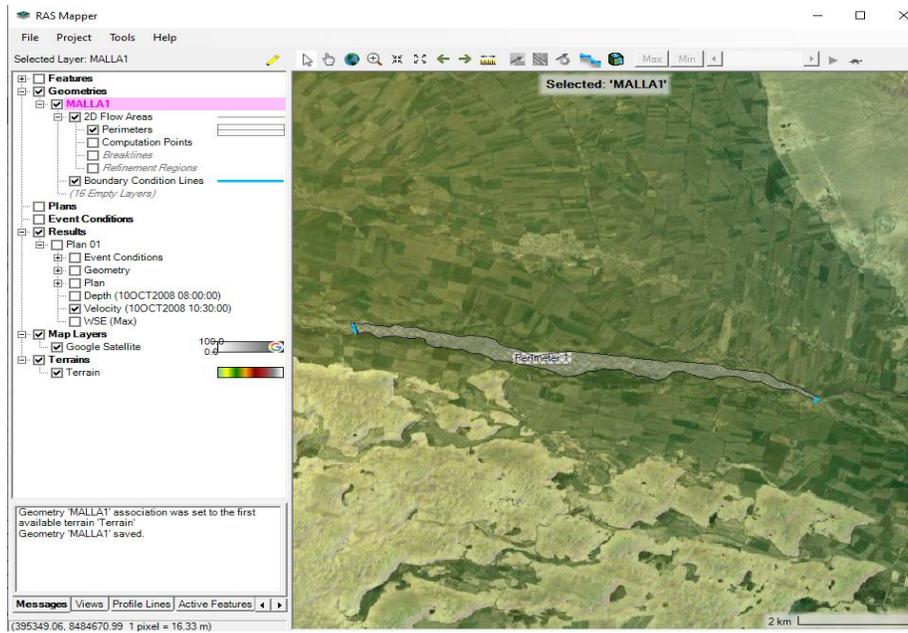


*Nota.* Para poder hacer alguna modificación en el enmallado se deberá a volver a generar los pasos anteriormente descritos.

Posterior a ello, se procederá a dar las condiciones de borde, en la opción Boundary Condition Lines, donde indicaremos al programa el ingreso y salida para la simulación, como se muestra en la figura 46.

### **Figura 46**

*Delimitación de la entrada y salida del caudal*

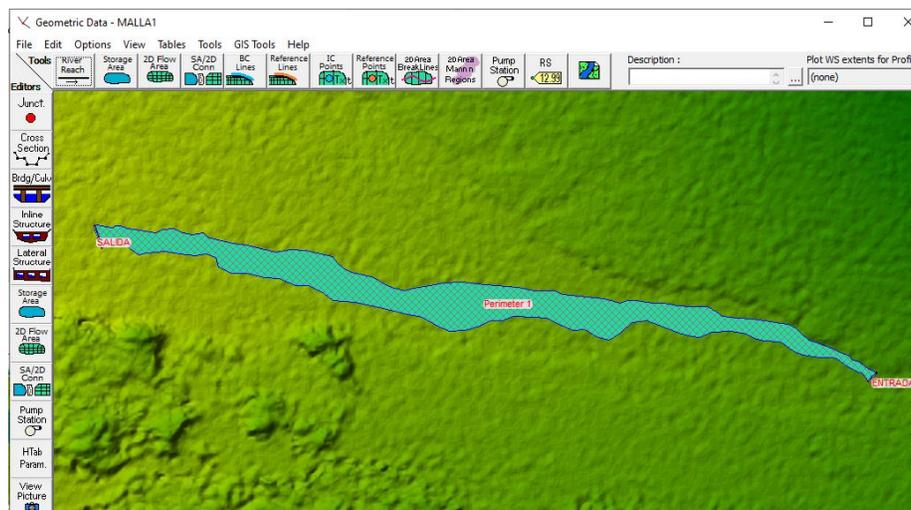


*Nota.* Al momento de indicar la entrada y salida, se debe graficar las líneas de borde de izquierda a derecha.

Se continúa guardando lo editado para la simulación y seleccionamos en la opción View/Edit geometry data para abrir la geometría realizada anteriormente (Figura 47).

**Figura 47**

*Enmallado del tramo independencia con borde de entrada y salida*

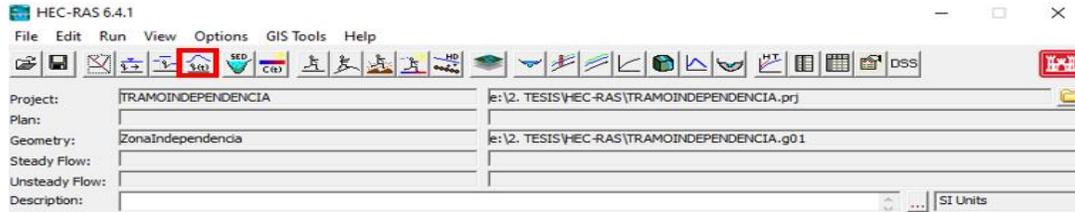


*Nota.* Se muestra en la figura la parte donde se evaluará el comportamiento del río Pisco.

Para dar las condiciones del hidrograma se debe colocar en el apartado de view/edit unsteady Flow data, según se muestra en la figura 48.

**Figura 48**

*Ingreso de datos del flujo*



*Nota.* Se muestra en la figura, el apartado donde pondremos los datos de entrada y salida del flujo del agua.

Se debe ingresar los datos de salida, donde se considera en el tipo de condición de contorno una profundidad normal, con una pendiente de 1.08%. Para los datos de entrada se ingresará los datos del hidrograma obtenido de la página del Senamhi de la estación Letrayoc. Siendo en el mes de marzo del año 2017 donde se presentó un caudal elevado.

Se presentan los datos a utilizar para el hidrograma el mes de marzo del 2017, el tiempo a tomar para esta simulación será en días según se muestra en la tabla 7.

**Tabla 7**

*Caudales diarios del mes de marzo del año 2017*

MES DE MARZO	
DE 2017	Q(m <sup>3</sup> /s)
1	240.000
2	347.500
3	361.250
4	272.500
5	295.000
6	345.000

---

7	375.000
8	397.500
9	440.000
10	455.000
11	382.500
12	332.500
13	273.750
14	245.000
15	152.500
16	317.500
17	235.000
18	367.500
19	370.000
20	357.500
21	385.000
22	377.500
23	410.000
24	252.500
25	237.500
26	160.000
27	117.500
28	100.000
29	62.500
30	46.250
31	42.500

---

*Nota.* Información del mes de marzo del 2017. Adaptado de “Registro de descargas máxima diaria del Rio Pisco”, por ANA, 2023( <https://snirh.ana.gob.pe/snirh/>).

Posterior a la descarga de datos de caudal se colocan la información en el programa Hec Ras (Figura 49).

**Figura 49**

*Configuración para el hidrograma de flujo*

Flow Hydrograph

20: Perimeter 1 BCLine: Entrada

Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

Enter Table Data time interval: 1 Day

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

Use Simulation Time: Date:  Time:

Fixed Start Time: Date: 01FEB2018 Time: 000

No. Ordinates  Interpolate Missing Values  Del Row  Ins Row

	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m <sup>3</sup> /s)
1	31Ene2018 2:400	0:00:00	203.750
2	01Feb2018 2:400	24:00:00	240.00
3	02Feb2018 2:400	48:00:00	347.00
4	03Feb2018 2:400	72:00:00	361.00
5	04Feb2018 2:400	96:00:00	272.500
6	05Feb2018 2:400	120:00:00	295.00
7	06Feb2018 2:400	144:00:00	345.00
8	07Feb2018 2:400	168:00:00	375.00
9	08Feb2018 2:400	192:00:00	397.00
10	09Feb2018 2:400	216:00:00	440.00
11	10Feb2018 2:400	240:00:00	455.00
12	11Feb2018 2:400	264:00:00	382.50
13	12Feb2018 2:400	288:00:00	332.50
14	13Feb2018 2:400	312:00:00	273.75
15	14Feb2018 2:400	336:00:00	245.00

Time Step Adjustment Options ("Critical" boundary conditions)

Monitor this hydrograph for adjustments to computational time step

Max Change in Flow (without changing time step):

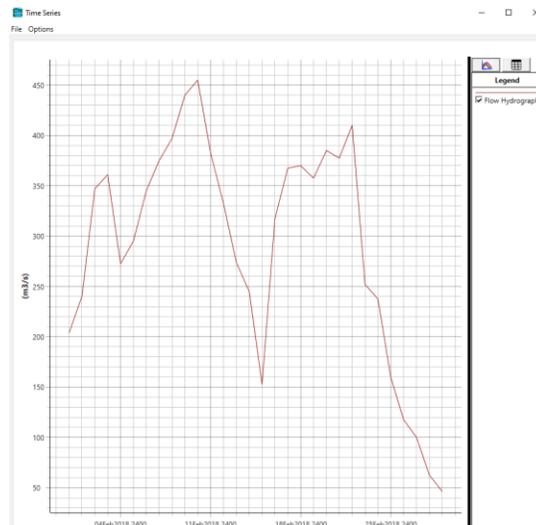
Min Flow:  Multiplier:  EG Slope for distributing flow along BC Line:   TW

*Nota.* Se observa la configuración para poder realizar el hidrograma de flujo

Luego de colocar los datos en el programa, el software nos genera un hidrograma con los valores máximos y mínimos con los datos obtenidos de la estación Letrayoc, según se muestra en la figura 50.

**Figura 50**

*Hidrograma diario del mes de marzo del año 2017*

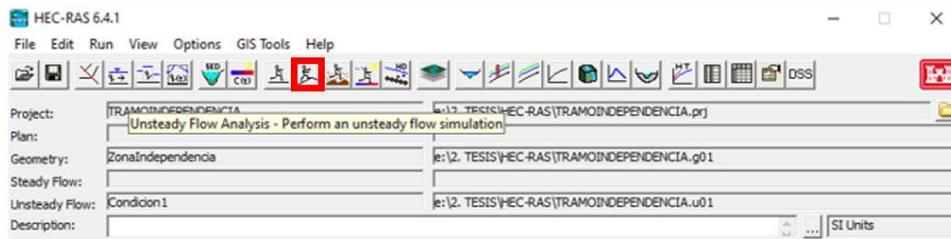


*Nota.* Se muestra el hidrograma con los valores obtenidos de la estación Letrayoc.

Para poner en marcha el programa, nos dirigimos a la opción Unsteady Flow Analysis como se muestra en la figura 51 y activaremos las opciones en programa para ejecutar, ventana de tiempo de simulación la configuración de cálculo como se muestra en la figura 52.

### Figura 51

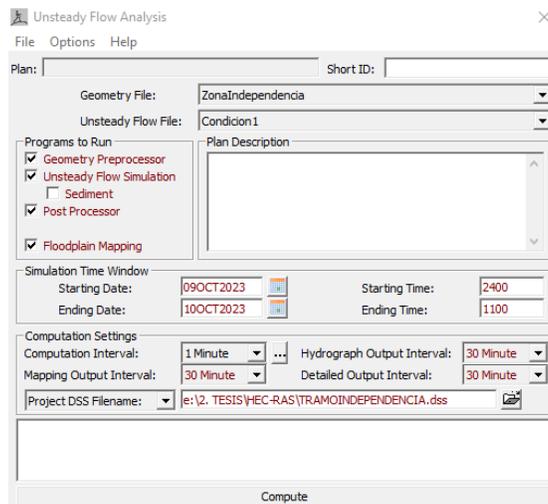
*Análisis de flujo inestable: realice una simulación de flujo inestable.*



*Nota.* Se muestra en la figura, el apartado donde pondremos los datos para correr el modelamiento hidráulico.

### Figura 52

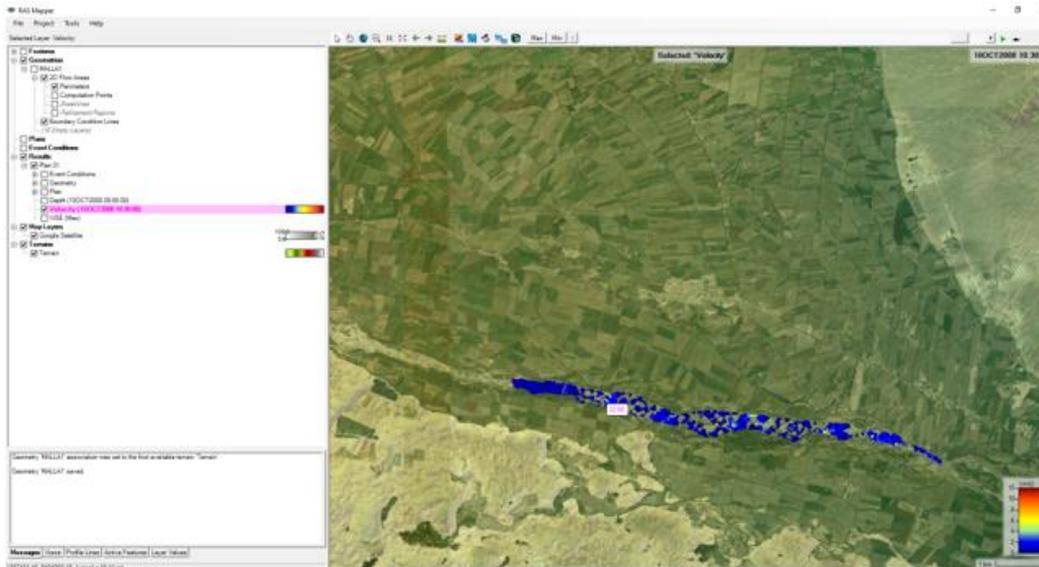
*Análisis de flujo no estacionario*



*Nota.* Para realizar la modelación podemos utilizar varias combinaciones de tiempo, para esta modelación se consideró un intervalo de 30 minutos.

Finalizando procedemos a correr los resultados, como se muestra en la figura 53.





*Nota.* En base a los caudales del mes de marzo del año 2017 se observa el resultado de la velocidad que genera el cauce del río en la zona de estudio, dando como mayor valor de velocidad de 23.73 m/s

### 3.5 Modelación del tramo con el software Hec-Ras incluido la defensa ribereña

#### 3.5.1 Obtención de datos de elevación de Google Earth

Para poder realizar el modelamiento de la defensa ribereña en la zona de estudio, en primera instancia se recurrió al software Arc Map donde se procesará los datos del dique de forma tridimensional y luego se procederá a crear el archivo DEM.

En el primer paso es delimitar la zona donde se proyectará el dique más el tramo del río Pisco, luego se procederá a indicar las coordenadas UTM de inicio, medio y final del dique, donde las coordenadas son las siguientes:

Inicio:

Norte: 8484141.8169

Este: 386770.7636

Medio:

Norte: 8483998.8454

Este: 387352.897

Final:

Norte: 8483836.4444

Este: 387719.1015

Donde la figura 55 demuestra los pasos anteriormente mencionados.

### **Figura 55**

*Zona de estudio y coordenadas de inicio, medio y final del dique*

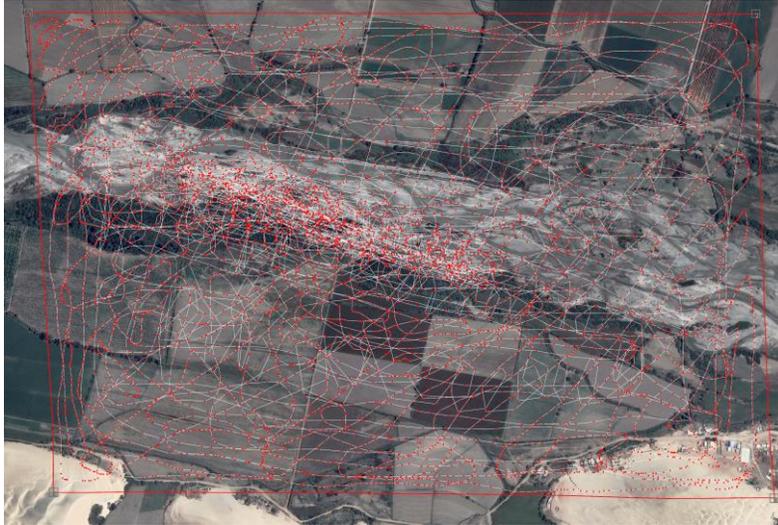


*Nota.* En la figura se muestra la zona donde se ubica el dique y las coordenadas de este.

Luego se procederá a colocar puntos para obtener las elevaciones, donde la mayor de puntos se concentrará a lo largo del dique propuesto, según se muestra en la figura 56.

### **Figura 56**

*Puntos para obtener los datos de elevación*



*Nota.* Se muestra los puntos tomados en cuenta, para la toma de elevación.

Debido a que al momento de importar los datos de Google eart al programa Arc Map este no considera los datos de elevación debido al formato, nos ayudaremos con la página GPS Visualizer, el cual nos ayudara a obtener los datos de elevación, para posteriormente realizar el buffer, según se muestra en la figura 57.

### Figura 57

*Puntos para obtener los datos de elevación*

The screenshot shows the GPS Visualizer website interface. At the top, there is a navigation bar with links for 'MAKE A MAP', 'MAKE A PROFILE', 'Generate addresses', 'Examples', 'Leaflet/Google', 'CONVERT A FILE', 'Link up observations', 'Help/FAQ', 'Google Earth', 'Draw on a map', 'Atlas: Share a map', and 'About GPSV'. Below this, there is a main content area with a green header and a black sidebar on the left. The main content area features a 'GPS Visualizer output' section with the following text: 'Your data has been converted to GPX. If something doesn't look like you expected it to, please send an email to bugs-10+10731106000500-54042@gpsvisualizer.com'. Below this, there is a download link for a GPX file: 'Download 2023106080500-54042-data.gpx'. There is also a 'Donate' button and a 'Help keep GPS Visualizer free' section. The main content area also features a text area with the following GPX XML data:
 

```

  <tr><td>4218127.3957812</td></tr>
  <tr><td><tr><td>12.784469255</td><td>10w</td><td>-76.858732696</td></tr>
  <tr><td>167.741</td></tr>
  <tr><td><tr><td>13.784951821</td><td>10w</td><td>-76.858891875</td></tr>
  <tr><td>167.986</td></tr>
  <tr><td><tr><td>13.785028988</td><td>10w</td><td>-76.858964126</td></tr>
  <tr><td>167.657</td></tr>
  <tr><td><tr><td>13.785049834</td><td>10w</td><td>-76.851841261</td></tr>
  <tr><td>167.457</td></tr>
  
```

 At the bottom of the page, there is a footer with the copyright information: '©2003-2019 Adam Schroeder, adam@gpsvisualizer.com'.

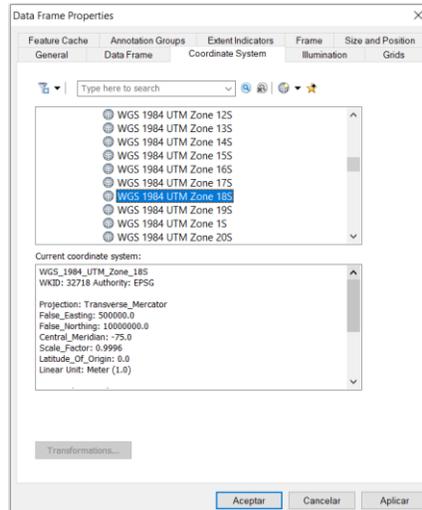
*Nota.* Observamos en la imagen elevaciones que se están considerando de algunos puntos tomados en el Google earth.

### 3.5.2 Modelamiento del dique en el software Arc Map

Para poder iniciar la modelación del software Arc Map es necesario en coordenadas UTM, donde la zona de estudio se encuentra en la zona 18S, como se muestra en la figura 58.

**Figura 58**

*Configuración previa a modelamiento*

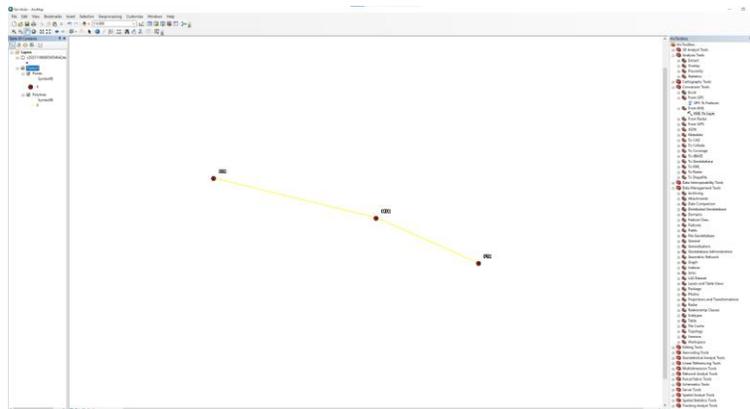


*Nota.* Se muestra en la figura las coordenadas donde se ubica el proyecto.

Luego se procederá a importar los puntos anteriormente exportados del Google earth, para así tener la longitud del dique a modelar, como se muestra en la figura 59.

**Figura 59**

*Configuración previa a modelamiento*

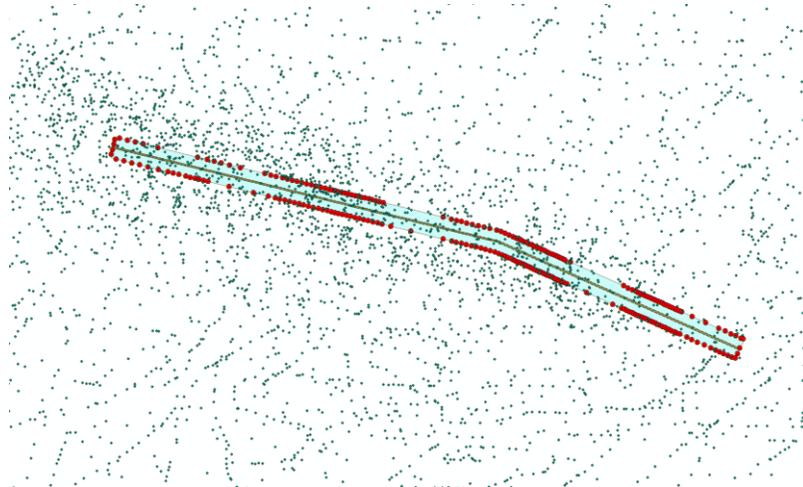


*Nota.* Se muestra en la figura los puntos anteriormente obtenidos del Google earth.

Finalmente se procederá a modelar el dique con una altura de 2.6 metros y un ancho de 16.5, según se muestra en la figura 60.

### **Figura 60**

*Modelamiento del dique con la altura y ancho*

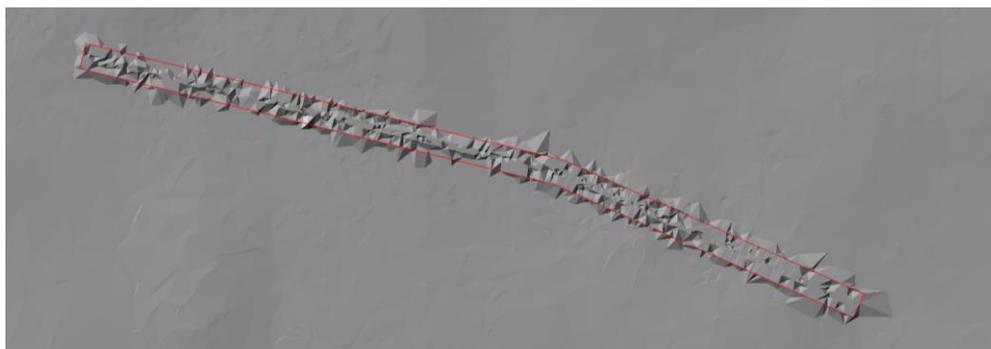


*Nota.* Se muestra en la figura los puntos anteriormente generados en el Google Earth, los cuales nos ayudaron a levantar los puntos del dique propuesto.

Finalmente obtendremos un modelo en tres dimensiones, para lo cual generaremos un archivo DEM para poder utilizarlo en la simulación con el software hec-ras, según se muestra en la figura 61.

### **Figura 61**

*Modelamiento del dique en el tramo Independencia*



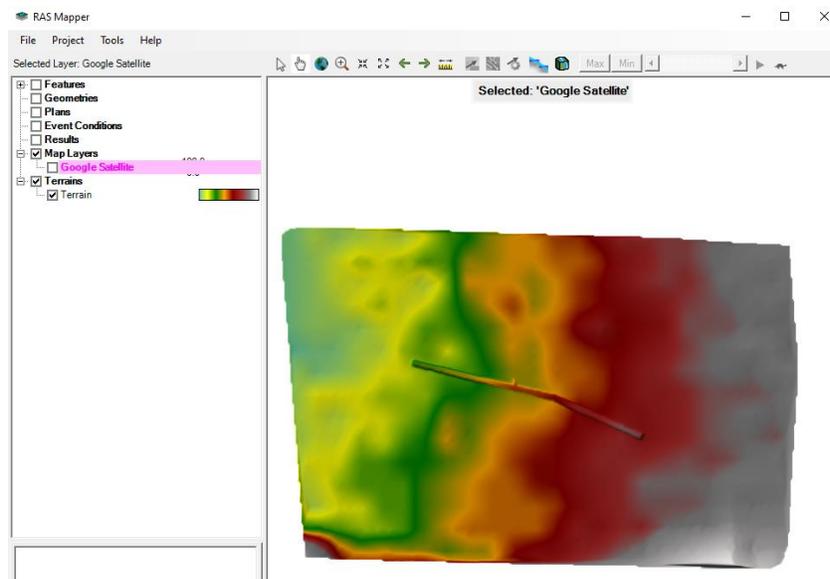
*Nota.* Se muestra en la figura el dique modelado de forma tridimensional con los datos de altura y ancho establecidos.

### 3.5.3 Modelamiento con el software HEC-RAS con el dique propuesto

Para la modelación de la zona de estudio se realizarán los pasos anteriormente realizados cuando se modelo para el tramo independencia sin dique, en esta oportunidad obtendremos un DEM donde se verá el dique propuesto según la figura 62.

#### **Figura 62**

*DEM con el dique propuesto*

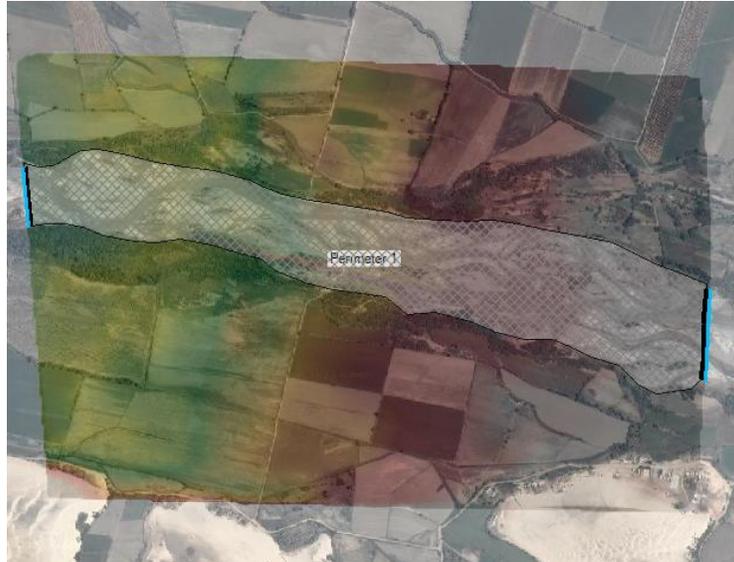


*Nota.* Se muestra en la figura el dique propuesto en la zona de estudio.

Lo siguiente fue crear un perímetro donde abarque el dique tomando en consideración que para este DEM tiene una malla cada 0.20 cm, lo cual se hace el cálculo cada vez más preciso, además de darle una entrada y salida del flujo de agua, como se muestra en la figura 63.

#### **Figura 63**

*DEM con el dique propuesto*

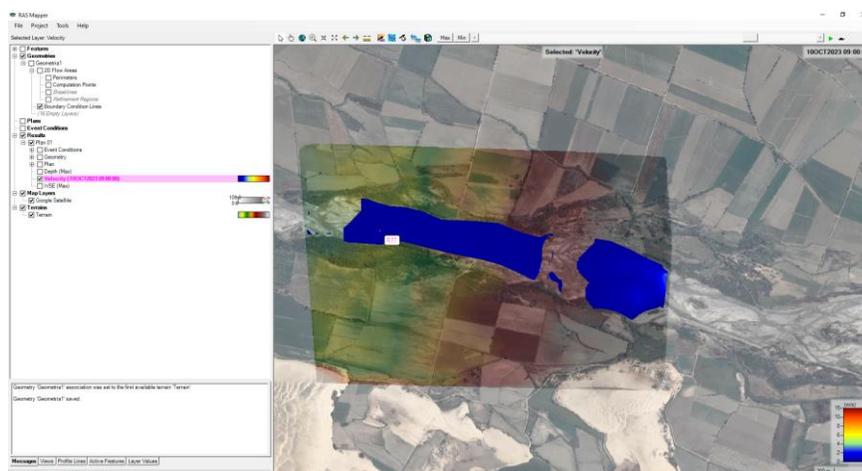


*Nota.* Se muestra en la imagen el tramo de independencia con el perímetro, la malla creada y la entrada y salida del caudal.

Utilizamos los datos anteriormente vistos en la tabla 7 para poder realizar la simulación, obteniéndose como resultado una velocidad de 0.32 m/s y una profundidad en la zona del dique de 7.0 m, según se puede ver en la figura 64 y figura 65 respectivamente.

### Figura 64

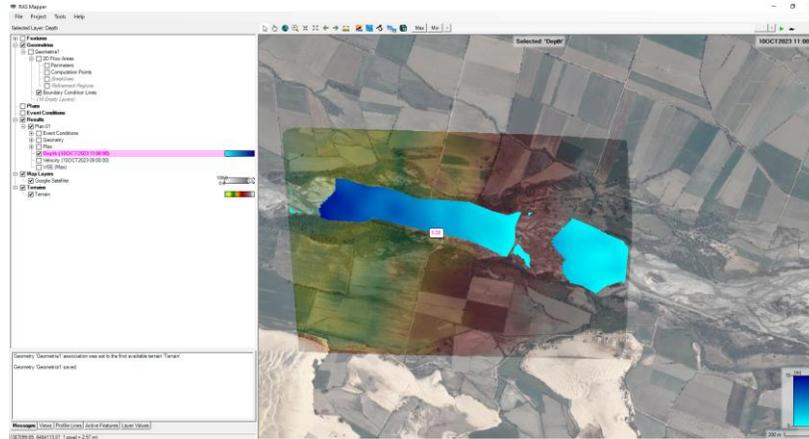
*Resultado de la modelación con dique de velocidad con los caudales del mes de marzo del 2017*



*Nota.* Se observa en la imagen la simulación con dique que protege el margen izquierdo con velocidades de 0.32m/s

## Figura 65

Resultado de la modelación con dique de profundidad con los caudales del mes de marzo del 2017



*Nota.* Se observa en la imagen la simulación con dique que protege el margen izquierdo se genera una profundidad de 11.0 m.

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

##### CONCLUSIONES

- ✓ Para la realización del presente estudio, se hizo una recopilación de caudales máximos anuales de la estación Letrayoc desde el año 1933 hasta el año 2019.
- ✓ La zona de estudio en el tramo de Independencia ubicada a lo largo del río Pisco, tiene una extensión de 1 km y cuenta con una pendiente de 1.301%
- ✓ Con los caudales recopilados y mediante los cálculos de los tres métodos utilizados en el software River se obtuvo que para un periodo de retorno de 50 y 100 años el caudal aproximado es 800 m<sup>3</sup>/s y 900 m<sup>3</sup>/s respectivamente
- ✓ En base a las calicatas realizadas se localizó el nivel de aguas profundas son superiores a los 2 metros. El tipo de suelo que predomina es grava mal gradada y grava limosa con arena, tiene buena resistencia al corte, el nivel freático oscila entre 0.90 a 2.40 m.
- ✓ Para el diseño de la defensa en el software River se utilizará el tipo de defensa enrocada lateral debido a características propias de la zona de estudio. De igual manera, se procederá a diseñar por los dos tipos de diques existentes en el programa, los cuales son recto y curvo. Posteriormente, se comprueba que ambos diseños son estables.
- ✓ Para el diseño en el Hec Ras se utilizó una resolución de malla de 12.5 m y un ancho de río de 335 m. El coeficiente de Manning tiene un valor de 0.044 el cual determina un factor altamente rugoso.
- ✓ En base a los datos de caudales colocados en el software Hec Ras se obtuvo que en el mes de marzo del año 2017 se presentó la mayor velocidad del cauce del río en la zona de estudio la cual fue de 23.73 m/s.
- ✓ Del diseño hidráulico propuesto se observa en la simulación con dique que si protege el margen izquierdo con velocidades de 0.32m/s y se genera una profundidad de 11.0 m.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Es recomendable obtener información proporcionada por entidades nacionales e internacionales reconocidas, para así evitar resultados erróneos en la investigación al momento de utilizar los softwares River y Hec Ras.
- ✓ Tratar de concientizar a los pobladores de los riesgos existentes al invadir zonas cercanas a los ríos ya que se encontrarían vulnerables a inundaciones.
- ✓ Para realizar un estudio más preciso es necesario considerar la cantidad de sedimentos, dado que estos ayudan a la crecida del cauce.
- ✓ De manera eventual se deben realizar mantenimiento a las defensas ribereñas con el fin de extender su duración propuesta.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abdi, R., Endreny, T., & Nowak, D. (2020). A model to integrate urban river thermal cooling in river restoration. *Journal of Environmental Management*, 258, 110023. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2019.110023>
- Abo-Sreeaa, D., AboulAtta, N., & El-Molla, D. (2023). The impact of blockage on the performance of canal coverage structures. *Journal of Engineering and Applied Science*, 1, 70-76. <https://doi.org/10.1186/S44147-023-00246-0>
- Autoridad Nacional del Agua. (s.f.). *Registro de descargas máxima diaria del Rio Pisco*. SNIRH. Recuperado el 25 de octubre de 2023, de <https://snirh.ana.gob.pe/snirh/>
- Chira, J., Vargas, L., Cangalaya, L., Palomino, C., Vásquez, R., & Rodríguez, H. (2011). Geoquímica ambiental de la cuenca del río Pisco. *INGEMMET, Boletín, Serie B: Geología Económica*, 24, 1-78. [https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/217/266/B024-Boletin-Geoquimica ambiental cuenca rio Pisco.pdf](https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/217/266/B024-Boletin-Geoquimica_ambiental_cuenca_rio_Pisco.pdf)
- De La Lanza Espino, G., Cáceres Martínez, C., Adame Martínez, S., Hernández Pulido, S. (2007). *Diccionario de Hidrología y Ciencias Afines*. Universidad de Baja California Sur, Plaza y Valdés Editores.
- Ferraz, C., Valadão, R., Pinto, D., & Almeida, R. (2022). Inundations and floods in Teófilo Otoni, Minas Gerais, Brazil, according to geomorphological indicators. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 23(4), 1893–1910. <https://doi.org/10.20502/RBG.V23I4.2152>
- Galanton, E., & Romero, L. (2007). *Descripción de las defensas ribereñas* [Trabajo de grado de licenciatura, Universidad de Oriente]. Repositorio Digital Institucional de la Universidad de Oriente. <https://acortar.link/jTHmqI>
- Ingeniería de Recursos Hídricos. (s.f.). *River: Diseño de defensas ribereñas – ANA*. IRHPERU. Recuperado el 10 de setiembre de 2023, de <http://www.irhperu.com/programas/river-diseo-de-defensas-ribereas-ana>
- McCormac, J. C. (2014). *Topografía*. Limusa Wiley.

Moreno Castro, Jorge. (2018). *Técnicas de salvamento en ríos e inundaciones* (2a. ed.). Editorial ICB.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (s.f.). *El fenómeno EL NIÑO en el Perú*. Recuperado el 10 de setiembre de 2023, de <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/874>

## 6. ANEXOS

**Figura 66**

*Inicio de excavaciones para realizar las calicatas*



**Figura 67**

*Primera calicata*



**Figura 68**

*Segunda calicata*



**Figura 69**

*Tercera calicata*



**Figura 70**

*Cuarta calicata*



**Figura 71**

*Quinta calicata*



**Figura 72**

*Río Pisco – Tramo Independencia*

