



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

Aplicación del Modelo Matemático Hidromorfodinámico

TEDRI-1D7C como Herramienta en la prevención de

Efectos Hidráulicos en los Cimientos del Puente Reque

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

Autor:

Bach. Yajahuanca Roncal Alexis Melacio

<https://orcid.org/0000-0003-2392-5869>

Asesor:

Mg. Sánchez Diaz Elver

<https://orcid.org/0000-0001-9499-1252>

Línea de Investigación:

Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente

Pimentel – Perú

2023

**APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO HIDROMORFODINÁMICO TEDRI-
1D7C COMO HERRAMIENTA EN LA PREVENCIÓN DE EFECTOS
HIDRÁULICOS EN LOS CIMIENTOS DEL PUENTE REQUE**

Aprobación de Jurado

Mg. Villegas Granados Luis Mariano

Presidente del Jurado de Tesis

Mg. Salinas Vasquez Néstor Raul

Secretario del Jurado de Tesis

Mg. Chávez Cotrina Carlos Ovidio

Vocal del Jurado de Tesis




DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien suscribe la **DECLARACIÓN JURADA**, soy egresado del Programa de Estudios de la Escuela Profesional de **INGENIERÍA CIVIL** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro bajo juramento que soy autor del trabajo titulado:

APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO HIDROMORFODINÁMICO TEDRI-1D7C COMO HERRAMIENTA EN LA PREVENCIÓN DE EFECTOS HIDRÁULICOS EN LOS CIMIENTOS DEL PUENTE REQUE

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán (CIEI USS) conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación a las citas y referencias bibliográficas, respetando al derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Yajahuanca Roncal Alexis Melacio	DNI:72966805	
----------------------------------	--------------	---

Pimentel, 23 de noviembre de 2023.

NOMBRE DEL TRABAJO

Aplicación del Modelo Matemático Hidro
morfodinámico TEDRI-1D7C como Herra
mienta en la prevención de

AUTOR

Alexis Melacio Yajahuanca Roncal

RECUENTO DE PALABRAS

13737 Words

RECUENTO DE CARACTERES

69798 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

84 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.3MB

FECHA DE ENTREGA

Dec 7, 2023 10:24 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Dec 7, 2023 10:25 PM GMT-5

● **17% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 15% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado

Dedicatoria

*“Dedico a mis padres Mery luz Roncal
Gomes y Melacio Yajahuanca Laban y a mi
hermano Carlos Enrique Yajahuanca Roncal
por haberme ayudado a nunca desmayar en
este sueño de ser un profesional”*

Agradecimientos

Agradezco a Dios por la salud y por cada día de vida que me brinda.

A mis padres que me están ayudando a formarme profesionalmente.

A todos los que colaboraron con un grano de arena en el desarrollo de esta tesis.

Índice

Dedicatoria	v
Agradecimientos.....	vi
Índice de tablas	vii
Índice de figuras	ix
Resumen.....	xii
Abstract	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Realidad problemática	14
1.2. Formulación del problema.....	24
1.3. Hipótesis.....	24
1.4. Objetivos	24
1.5. Teorías relacionadas al tema	25
II. MATERIALES Y MÉTODO	36
2.1. Tipo y diseño de investigación	36
2.2. Variables y operacionalización.....	37
2.3. Población de estudio y muestra.....	39
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	40
2.5. Procedimiento de análisis datos	42
2.6. Criterios éticos	43
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
3.1. Resultados.....	44
3.2. Discusión de resultados	94
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	96
4.1. Conclusiones	96
4.2. Recomendaciones	97
REFERENCIAS.....	98
ANEXOS: Informes De Ensayos Del Laboratorio & Panel Fotográfico.....	103

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Tipos de sedimentos según su tamaño.</i>	30
Tabla 2	<i>zonas de erosión:</i>	32
Tabla 3	<i>Operacionalización de las variables</i>	37
Tabla 4	<i>VARIABLES de estudio.</i>	39
Tabla 5	<i>Técnicas de recolección de datos.</i>	39
Tabla 6	<i>Instrumentos de recolección de datos.</i>	40
Tabla 7	<i>Valores límites de Pearson</i>	40
Tabla 8	<i>Coordenadas UTM de las muestras</i>	48
Tabla 9	<i>Ensayo granulométrico de la muestra 01</i>	49
Tabla 10	<i>Resultados del ensayo granulométrico de la muestra 02</i>	50
Tabla 11	<i>Resultados del ensayo granulométrico de la muestra 03</i>	51
Tabla 12	<i>Resultados del ensayo granulométrico de la muestra 04</i>	52
Tabla 13	<i>Resultados del ensayo granulométrico de la muestra 05</i>	53
Tabla 14	<i>Parámetros morfológicos de la cuenca Reque</i>	564
Tabla 15	<i>Estaciones pluviométricas</i>	55
Tabla 16	<i>Valores de caudal de acuerdo a las distribuciones.</i>	56
Tabla 17	<i>caudales progresivos desde el máximo fenómeno del niño</i>	93

Índice de figuras

Figura 1 Esquema geométrico de la perturbación del flujo causado por un pilar	25
Figura 2 Estela generada a causa del vórtice en los límites de la capa	26
Figura 3 Dependencia y variación del vórtice de estela según el valor del número de Reynolds y el coeficiente de arrastre.....	27
Figura 4 Calles de vórtices de Von Karman	27
Figura 5 Acopio y acumulación de sedimentos aguas abajo en los límites del pilar.	28
Figura 6 Diagrama de Shields	30
Figura 7 Esquema de vórtices en una pila circular	31
Figura 8 Esquema de erosión de pilas circulares.....	31
Figura 9 Método de análisis de datos	40
Figura 10 Ubicación del río Reque en función del flujo del río.	43
Figura 11 Plano topográfico del río Reque	45
Figura 12 Localización de las 05 muestras extraídas.....	49
Figura 13 Curva granulométrica de la muestra 01.....	48
Figura 14 Curva granulométrica de la muestra 02.....	49
Figura 15 Curva granulométrica de la muestra 03.....	50
Figura 16 Curva granulométrica de la muestra 04.....	51
Figura 17 Curva granulométrica de la muestra 05.....	52
Figura 18 Cuenca hidrográfica del río Reque-punto de concentración Puente Reque.	55
Figura 19 Ubicación de la estación Reque en el mapa de estaciones	56
Figura 20 Ajuste de los datos de precipitación a la distribución Normal-HIDROESTA2.....	58
Figura 21 Ajuste de los datos de precipitaciones a la distribución Log-Normal de 2 parámetros-HIDROESTA2.....	58
Figura 22 Ajuste de los datos de precipitaciones a la distribución Log-Normal de 3 parámetros-HIDROESTA2.....	59
Figura 23 Ajuste de los datos a la distribución Gamma de 2 parámetros-HIDROESTA2 ...	59
Figura 24 Ajuste de los datos de precipitaciones a la distribución Gamma de 3 parámetros-HIDROESTA2	60
Figura 25 Ajuste de los datos de precipitación a la distribución Gumbel-HIDROESTA2.....	60
Figura 26 Ajuste de los datos de precipitación a la distribución de Log-Gumbel o de Fréchet-HIDROESTA2.....	61
Figura 27 Opciones de sistemas métricos de interacción	64
Figura 28 Creación del proyecto denominado “Modelamiento TEDRI 1D7C” en el software Hec Ras	65
Figura 29 Georreferenciación del Ras Mapper-Hec Ras.....	66
Figura 30 Modelo digital de elevación	66
Figura 31 Imagen satelital obtenida de la herramienta Map Layers-Ras Mapper-Hec Ras	67
Figura 32 Trazo del eje del río Reque	67
Figura 33 Trazo de los bank lines-Ras Mapper-Hec Ras.....	68
Figura 34 Secciones transversales a lo largo del eje del río Reque.....	68
Figura 35 Valores de Manning de acuerdo a las secciones generadas.	69
Figura 36 Secciones 955 y 1009	71
Figura 37 Puente Reque-Hec Ras.....	71
Figura 38 Puente Reque con respecto a las secciones transversales	71
Figura 39 Ventana principal de la extensión QUASI-UNSTEADI DATA.....	72
Figura 40 Ingreso de la pendiente del río como condición de contorno.	72
Figura 41 Ingreso del caudal de diseño obtenido de la estación de aforo Bocatoma Monsefú-Reque.	73
Figura 42 Caudal vs incremento computacional.....	73
Figura 43 Ingreso de la condición de temperatura del agua del río Reque	74
Figura 44 Ventana principal de la extensión Sediment Data	74
Figura 45 Porcentaje granulométrico de la muestra M-01.....	75
Figura 46 Porcentaje granulométrico de la muestra M-02.....	75
Figura 47 Porcentaje granulométrico de la muestra M-03.....	76

Figura 48 Porcentaje granulométrico de la muestra M-04.....	76
Figura 49 Porcentaje granulométrico de la muestra M-05.....	77
Figura 50 Elección de las ecuaciones para la aplicación del modelo matemático TEDRI 1D7C, para el transporte de sedimentos.	77
Figura 51 Creación del plan para la aplicación del modelo matemático TEDRI 1D7C en la extensión Sediment Transporte Analysis-Hec Ras.....	78
Figura 52 Culminación de la ejecución del modelo matemático TEDRI 1D7C.	78
Figura 53 Identificación de zonas donde se genera erosión y socavación a lo largo del tramo del río Reque.	79
Figura 54 Perfiles de velocidades a lo largo del tramo del río Reque	79
Figura 55 Masa total acumulada de sedimentos que se transporta en el río Reque en los 3 días de simulación.	80
Figura 56 Número de Froude a lo largo del río Reque	80
Figura 57 Comportamiento de la sección transversal 2008 frente al transporte de sedimentos.....	81
Figura 58 Comportamiento de la sección transversal 1936 frente al transporte de sedimentos.....	81
Figura 59 Comportamiento de la sección transversal 1853 frente al transporte de sedimentos.....	82
Figura 60 Comportamiento de la sección transversal 1797 frente al transporte de sedimentos.....	81
Figura 61 Comportamiento de la sección transversal 1707 frente al transporte de sedimentos.....	83
Figura 62 Comportamiento de la sección transversal 1610 frente al transporte de sedimentos.....	83
Figura 63 Comportamiento de la sección transversal 1537 frente al transporte de sedimentos.....	84
Figura 64 Comportamiento de la sección transversal 1397 frente al transporte de sedimentos.....	84
Figura 65 Comportamiento de la sección transversal 1258 frente al transporte de sedimentos.....	85
Figura 66 Comportamiento de la sección transversal 1168 frente al transporte de sedimentos.....	85
Figura 67 Comportamiento de la sección transversal 1110 frente al transporte de sedimentos.....	86
Figura 68 Comportamiento de la sección transversal 1065 frente al transporte de sedimentos.....	86
Figura 69 Comportamiento de la sección transversal 1009 frente al transporte de sedimentos.....	87
Figura 70 Comportamiento de la sección transversal 955 frente al transporte de sedimentos	87
Figura 71 Comportamiento de la sección transversal 923 frente al transporte de sedimentos	88
Figura 72 Comportamiento de la sección transversal 832 frente al transporte de sedimentos	88
Figura 73 Comportamiento de la sección transversal 711 frente al transporte de sedimentos	89
Figura 74 Comportamiento de la sección transversal 588 frente al transporte de sedimentos	89
Figura 75 Comportamiento de la sección transversal 464 frente al transporte de sedimentos	90
Figura 76 Comportamiento de la sección transversal 290 frente al transporte de sedimentos	90
Figura 77 Comportamiento de la sección transversal 209 frente al transporte de sedimentos	91

<i>Figura 78 Comportamiento de la sección transversal 73 frente al transporte de sedimentos</i>	91
<i>Figura 79 Comportamiento de la sección transversal 464 frente al transporte de sedimentos</i>	91
<i>Figura 80 Cálculo de socavación en los pilares del puente Reque.</i>	91
<i>Figura 81 Cálculo de socavación en los estribos del río Reque.</i>	92
<i>Figura 82 Aplicación del modelo matemático TEDRI 1D7C, para el cálculo de los diferentes parámetros que este método requiere.</i>	93
<i>Figura 83 Socavación progresiva desde el máximo fenómeno del niño de 1998 con un caudal de 1996 m³/seg hasta el caudal diseñado para un tiempo de retorno de 500 años.</i>	94

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo principal evaluar los efectos hidráulicos producidos por la socavación en el puente Reque, ubicado en la región Lambayeque, mediante el uso del modelo matemático TEDRI 1D7C, se realizó el estudio detallado de las condiciones hidráulicas y geomorfológicas del río donde se ubica el puente Reque, además de la evaluación del comportamiento hidráulico del propio puente Reque.

Se realizó una revisión bibliográfica sobre la temática de puentes y socavación, donde se encontraron diversos estudios que demostraron la eficacia de los modelos matemáticos en la prevención de efectos hidráulicos en puentes.

Se llevó a cabo la modelación numérica del modelo TEDRI 1D7C, utilizando el software Hec Ras. Se consideraron escenarios de socavación en el río y se evaluó su impacto en el comportamiento hidráulico del puente. Los resultados obtenidos permitieron determinar que la socavación puede generar efectos significativos en la hidráulica y estructura del puente, pudiendo incluso poner en riesgo su estabilidad.

En conclusión, la presente investigación es una investigación cuantitativa-tecnológica que demostró la importancia de evaluar los efectos hidráulicos producidos por la socavación en puentes, como es el caso del puente Reque. El uso de modelos matemáticos permitió una evaluación precisa y detallada del comportamiento hidráulico del puente, lo que puede ser de gran utilidad para su mantenimiento y prevención de posibles daños.

Palabras claves: río, flujo de agua, sedimentos, modelación hidrológica, socavación.

Abstract

The present investigation had as main objective to evaluate the hydraulic effects produced by the scour in the Reque bridge, located in the Lambayeque región, through the use of the mathematical model TEDRI 1D7C, a detailed study of the hydraulic and geomorphological conditions of the river where it was carried out. Locates the Reque bridge, in addition to the evaluation of the hydraulic behavior of the Reque bridge itself.

A bibliographic review on the subject of bridges and scour was carried out, where various studies were found that demonstrated the effectiveness of mathematical models in the prevention of hydraulic effects on bridges.

The numerical of the TEDRI 1D7C model was carried, using the Hec Ras software. Scour scenarios in the river were considered and their impact on the hydraulic behavior of the bridge was evaluated. The results obtained allowed us to determine that scour can generate significant effects on the hydraulics and structure of the bridge, and can even put its stability at risk.

In conclusion, this research is a quantitative-technological research that demonstrates the importance of evaluating the hydraulic effects produced by scour in bridges, such as the Reque bridge. The use of mathematical models allowed a precise and detailed evaluation of the hydraulic behavior of the bridge, which can be very useful for its maintenance and prevention of possible damage.

Keywords: rivers, water flow, sediments, hydrological modeling, scour.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En las últimas décadas, muchos países han implementado técnicas numéricas y de simulación en el ámbito de ingeniería, las cuales han permitido analizar y resolver problemas complejos de manera eficiente y precisa. Estas técnicas están basadas en el uso de modelos matemáticos y computacionales para simular el comportamiento de sistemas físicos y resolver ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento de estos sistemas.

En ese sentido Pumachaico y Zabaleta [1] señalan que un modelamiento es la parte física de un proceso real que cuenta con una serie de indicadores y variables que se relacionan matemáticamente entre sí y que pueden utilizarse para simular la evolución del sistema.

Existen diferentes modelos matemáticos utilizados en la prevención de efectos hidráulicos, tales como las inundaciones, la erosión y la sedimentación excesiva en ríos y sistemas fluviales. Uno de los más comunes es el modelo hidráulico, el cual se utiliza para simular el comportamiento del agua en un río o canal. Puede ser utilizado para evaluar el impacto de la construcción de estructuras, como diques, puentes y esclusas, en el flujo del agua y la sedimentación. De la misma manera, pueden utilizarse para evaluar los efectos de la erosión y sedimentación en el río y para predecir la ubicación de bancos de arena y canales de navegación.

Según Basile y Riccardi [2] Es una de las herramientas para estimar modelamientos que combinan la morfodinámica y la hidrodinámica es el modelo matemático de TEDRI-1D7C, el cual constituye una alternativa a la solución robusta y eficiente para la simulación numérica de fenómenos que involucran los análisis morfológicos, de manera integral los procesos y subprocesos hidrodinámicos, hidráulicos e hidrológicos en cauces naturales

Basile, Riccardi, Peruzzo y García [3] Da a conocer que algunos casos, el modelo TEDRI-1D7C simula efectos debido al tipo de erosión en forma de cascadas dados en suelos cohesivos, haciendo una combinación de la erosión efectiva dada en el lecho del río, la socavación originada en la base del impacto del flujo vertical de la columna de agua, y la

socavación dada por el vórtice que gira en sentido antihorario junto a la grieta formada por la tracción y el sistema de colapso dado por la inestabilidad asociado a fallas de suelos.

Para Castellano [4] Uno de los efectos más comunes causados por el flujo del cauce fluvial, es la socavación, podemos definirla como el resultado progresivo de la erosión activa que desprende las partículas del lecho transportándolas de un punto a otro. También podemos definirla como el descenso vertical del lecho cuando existen corrientes con energía cinética elevada que desprenden el material del fondo y lo trasladan aguas abajo.

Según Elbio [5] en el Perú hay zonas con desiertos y climas áridos, hay ríos esporádicos que siguen fluyendo durante años sin lluvia. Esto se debe a que las tormentas son raras en zonas con climas desérticos. Sin embargo, durante las épocas de lluvia, que a menudo resultan en fuertes lluvias, los ríos emergen rápidamente y con gran velocidad, lo que resulta en intensas inundaciones de muy corta duración.

Guevara [6] Dentro de nuestro territorio nacional tenemos también el caso de la selva, que es en donde los cauces de los ríos presentan una irregularidad durante los meses del año, esto conlleva a una preocupación de investigar y realizar simulaciones de los efectos y dinámica de los ríos, con el propósito de prever cualquier problemática, y/o efectos negativos tanto en la población como en los puentes u otro tipo de obras que existan y/o estén cerca de los márgenes de los ríos.

. En ese sentido, los modelos matemáticos son usados para simular el flujo de agua en los cauces naturales. Estos modelos utilizan una combinación de ecuaciones de continuidad, ecuaciones de momento y modelos de turbulencia para simular el flujo de agua en diferentes condiciones. Los modelos de cauce abierto, como el modelo HEC-RAS, son ampliamente utilizados en la ingeniería hidráulica para simular el flujo de agua en ríos y canales.

Además del flujo de agua, el movimiento del sedimento también es un factor importante en los cauces naturales. El movimiento de sedimento se produce por la acción del flujo de agua, la gravedad y la erosión del terreno. El transporte de sedimentos se puede

describir utilizando modelos matemáticos que consideran la relación entre la velocidad del flujo de agua y la capacidad de transportar sedimentos.

En resumen, los flujos en los cauces naturales son el resultado de la interacción compleja entre el agua, el sedimento, la vegetación y la topografía del terreno. Los modelos matemáticos se utilizan para simular el flujo de agua y el transporte de sedimentos en estos sistemas, lo que permite a los ingenieros y científicos comprender mejor el comportamiento de los cauces naturales y prevenir o mitigar los efectos hidráulicos, como las inundaciones y la erosión.

Cabe decir que es de suma importancia implementar una política de prevención en donde se deba de poner énfasis a los estudios y cálculos de prevención y modelamiento de los efectos y daños ocurrido en el Perú a causa de fenómenos climáticos como es el caso del fenómeno “El Niño”, siendo el fenómeno más reciente, el ocurrido en el 2017, ya que este ocasionó grandes daños debido a las intensas lluvias, tales como caída de puentes, ruptura de estructura hidráulicas, socavación y erosión.

Según Metzger [7] Entidades como el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú).contribuyen en realizar estudios, modelamientos, predicciones y estimaciones de variables climatológicas e hidrológicas, así como simulaciones de los cauces de ríos en épocas de avenidas con el fin de prever efectos negativos en la población ya sea por inundación y desborde, o por colapso de estructuras hidráulicas que puedan generar impacto socioeconómico (caída de puentes, ruptura de presas, etc).

Buguña [8] Existen diversas metodologías de análisis, simulación y procedimientos para la elaboración de modelos hidrológicos, hidrodinámicos e hidráulicos, esto es, desde parámetros de precipitación – escorrentía que permitan estimar y simular caudales en una subcuenca o río en estudio, hasta perfiles dinámicos de conducción de sedimentos que permiten estimar efectos de socavación en el lecho fluvial o cimentaciones hidráulicas.

Los ingenieros hidráulicos fluviales utilizan una combinación de habilidades técnicas y conocimientos para diseñar y construir estructuras que puedan controlar la circulación del agua en los ríos y corrientes. Esto incluye la construcción de presas, compuertas, canales y

otros sistemas de control de inundaciones. En ese sentido, la ingeniería a través de la hidráulica fluvial hace uso de técnicas computacionales modernas para modelar y simular variables físicas en procesos hidráulicos. Algunos de los programas más usuales son IBER, HEC RAS, HEC. HMS, HEC – GEORAS, CFD, MD FLOW, FLOW 3D, los cuales usan MEF (Método de Elementos Finitos) para estimar perfiles de velocidad, caudales, velocidad de sedimentos en función del coeficiente de Manning (n), el valor del caudal rms o pico, de tal manera que se obtienen los perfiles hidráulicos del tramo en estudio.

Orellana [9] Otro de la importancia de usar modelamientos que involucren el análisis morfodinámico de causas es el de prevención ante desbordes, esto es, si se conoce las zonas más vulnerables debido a las crecientes y caudales máximos registrados años atrás, es posible usar el modelo de TEDRI con el objetivo de simular estos subprocesos hidrodinámicos y obtener perfiles cinemáticos y dinámicos, así como las zonas potenciales de erosión y socavación que constituirían zonas vulnerables de colapso y desborde. Por ejemplo, el modelo TEDRI-1D7C. Puede utilizarse para evaluar el impacto de la construcción de infraestructuras, como puentes y diques, sobre el caudal y la sedimentación de los ríos. También se puede utilizar para estimar los efectos de la deforestación y la erosión del suelo de las riberas de los ríos, así como para predecir el impacto de eventos climáticos extremos, como las lluvias intensas.

El modelamiento hidráulico en el puente Reque es un proceso importante para asegurar la seguridad y estabilidad del puente en caso de eventos hidrológicos extremos, como crecidas o inundaciones. Para realizar el modelamiento hidráulico, es necesario utilizar softwares especializado que permita simular las condiciones hidráulicas en el área del puente, teniendo en cuenta factores como el caudal del río, la topografía del terreno y las características del puente. Algunos de los softwares más comúnmente utilizados son HEC-RAS, Mike Flood y SWMM.

El programa HEC-RAS es una aplicación que permite el modelado hidráulico en regímenes permanentes y no permanentes de canales abiertos, ríos y canales artificiales.

El proceso de modelado hidráulico implica recopilar datos y desarrollar un modelo matemático que represente las condiciones reales del puente y sus alrededores. Es necesario tener en cuenta la topografía del área y los datos hidrológicos para crear un modelo preciso. Una vez creado el modelo, se realizan simulaciones para evaluar el comportamiento hidráulico del río y cómo afecta al puente.

En la investigación Omara et [10].denominada “Modelo numérico hidro morfológico del proceso de socavación local alrededor de los pilares del puente”, tuvieron como objetivo simular y estimar una predicción de los procesos de socavación morfológica como hidrodinámica alrededor de los muelles verticales. La metodología aplicada fue una simulación de fenómenos de erosión y socavación en el software FLOW-3D. los resultados obtenidos demostraron que el esfuerzo cortante y la profundidad de socavación local se redujeron significativamente debido al ángulo de inclinación del pilar circular aguas abajo. En conclusión, El modelo estimó con precisión la superficie del agua, la velocidad del flujo y la tensión cortante del fondo con capacidades predictivas que dependían de la geometría de los pilares.

En la investigación de Basile y Ricardi [2] denominada “Desarrollo y Aplicación del Modelo Matemático Hidro morfodinámico TEDRI-1D7C”, tuvieron como objetivo aplicar un modelo para simular numéricamente los procesos hidrológicos y morfodinámicos de ríos en épocas de crecidas. La metodología usada es el modelo TEDRI-1D7C, en donde se enfatizó el análisis del transporte de sedimentos. Los resultados obtenidos relacionaron la dinámica de sedimentos con la evolución de la erosión y socavación. En conclusión, se recalca la erosión como la socavación, son de suma importancia al momento del diseño hidráulico, es decir se tiene que tener en cuenta la morfología de los meandros del río, pue esto ocasiona deslizamiento, inestabilidad y arrastre de sedimentos a lo largo de la trayectoria del río.

En la investigación de Basile, et al [3] denominada “Modelación hidrodinámica 2DH a escala de tramo del río Paraná inferior”, tuvieron como objetivo establecer modelos más efectivos que permitan simular el comportamiento hidrodinámico de cauces durante avenidas máximas. La metodología empleada fue la inclusión de variables morfológicas y

morfodinámicas. Los resultados se contrastaron con mediciones de caudales con ADCP, Representación de la dinámica de fluidos en rangos estacionarios e inestables. Es en términos de mapear el nivel de profundidad del agua, la pendiente de la superficie libre, la profundidad del flujo, la distribución de velocidades y la velocidad específica dentro de la sección transversal. En conclusión, Se ha implementó un modelo CCHE2D para simular la hidrodinámica del río Paraná.

En la investigación Ochoa et al [11] denominada “Análisis de la implementación de un modelo hidrodinámico tridimensional al flujo de un cauce natural”, tuvieron como objetivo estudiar y analizar físicamente la hidrodinámica del río. La metodología empleada se basó en las soluciones de las ecuaciones de Naviers Stokes teniendo como base una turbulencia del tipo K- ξ modelo SSIM. Los resultados obtenidos muestran los perfiles dinámicos de caudal, velocidad, gradiente de presión y transporte de sedimentos; estos perfiles demostraron que la socavación y erosión progresiva depende de la granulometría y direccionalidad del cauce. En conclusión, luego de modelar el flujo, se encontró una relación entre la socavación y erosión, con los perfiles de velocidad del río.

En la investigación Guizzardi y Martin [12] denominada “Modelación hidrológica e hidrodinámica del río Uruguay”, tuvieron como objetivo emplear metodologías de datos libres en la calibración de modelos hidrológicos. La metodología propuesta permite estimar algunos de los parámetros para reducir los grados de libertad y extrapolar los parámetros a subcuencas donde no hay datos disponibles. Los resultados obtenidos fueron desarrollados en USACE HEC-RAS con base en secciones transversales de ríos existentes. Las simulaciones son buenas en términos de correlación, magnitud y fase entre la serie de descarga observada y modelada, con índices de eficiencia de Nash-Sutcliffe de 0.70 para calibración, 0.66 para validación de río y 0.76 para calibración de río; la validación concluyó que fue de 0.74. Altitud.

En la investigación Baikal et al [13] denominada “Simulación numérica de procesos de socavación y relleno alrededor de un pilote circular en oleaje”, El objetivo fue proponer un modelado 3D basado en ecuaciones de Navier-Stokes promediadas por Reynolds

incompresibles. La metodología consistió en la opción de las ecuaciones y su modelamiento, de este modo como la contraposición con el dechado de cerradura de turbulencia k- ω . Los resultados obtenidos de las simulaciones de lecho rígido indican que el desprendimiento de vórtices para las olas alrededor del pilote se produce de una sola célula con una frecuencia de desprendimiento uniforme a lo largo de la altura del cilindro, a diferencia del caso de corriente constante, en el que prevalece una estructura de dos celdas. En conclusión, se incorporó el componente morfológico aplicado a escenarios de socavación y relleno alrededor de un pilote expuesto al oleaje, donde se obtuvo correlación directa con el efecto y evolución de éste.

En la investigación de Monte et al [14] denominada “Modelación hidrológica de las cuencas de los ríos: Ypané y Jejuí, utilizando HEC-HMS con fines de pronósticos hidrológicos en el río Paraguay”, tuvieron como objetivo proponer un sistema de pronósticos hidrológicos. La metodología empleada fue a través del uso del software HEC HMS implementado con el modelo SMA. Los resultados obtenidos permitieron generar hidrogramas los cuales fueron validados y contrastados con los existentes. En conclusión, con estos hidrogramas obtenidos es posible modelar de forma simultánea los caudales y mediciones de pluviometría, así como el pronóstico del tiempo (Resultado aceptable con una bondad de ajuste para el Río Ypané de $R^2= 6,05$ y para el Río Jejuí $R^2= 0,594$, según el coeficiente Nash), Lo que significaría que el modelo puede ser utilizado para predicciones de eventuales crecidas.

En la investigación de Guevara [15] denominada “Modelación hidrológica e hidráulica para determinar las crecidas en el Río Gera en la Provincia de Moyobamba, 2015”, su objetivo fue elaborar los mapas de inundación para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 500 de la cuenca Gera. La metodología empleada fue elaborar mapas de inundación basado en las 11 sub cuencas, los cuales se procesaron en el HEC HMS y HEC GEORAS. Los resultados obtenidos muestran los caudales picos de 17.21 m³/s, 30.73 m³/s, 44.87 m³/s, 65.28 m³/s, 106.43 m³/s, 150.20 m³/s, 206.78 m³/s, 304.55 m³/s para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 500 años respectivamente. Se concluye que, posterior al análisis en HEC GEORAS, las áreas inundables están en los periodos de retorno de 200 y

500 años, no obstante, a ello, debido a la inestabilidad climática existe una probabilidad de ocurrencia dentro de los próximos 10 años que pueda afectar a todo lo que esté cercano a río, como la, población, obras civiles, y cultivos.

En la investigación de esparza [16] titulada “Estudio de socavación del cauce en el río Chicama a 2 km aguas abajo del puente Careaga– Chicama – Ascope – La Libertad”, tuvo como objetivo hacer un análisis de socavación enlecho del río Chicama a 2 km aguas abajo del puente Careaga. Desarrollando un estudio hidráulico pluvial en el que realiza un modelamiento unidimensional en el programa HEC-RAS 5.0.3 y bidimensional utilizando todavía programa HEC-RAS 5.0.7. La metodología empleada es descriptiva, en el que realiza una síntesis de los antecedentes de la área de estudio para desarrollar un óptimo proyecto, con el fin de realizar un levantamiento topográfico, tomando muestras de suelo para luego ser estudiadas. Como resultado se obtuvo que en el modelo unidimensional las velocidades son más elevadas con un caudal máximo a diferencia del modelo bidimensional, en el cual las velocidades son más precisas.

En la investigación de Ramos y Alba [17] denominada “Análisis geomorfológico y dinámica fluvial del río Huallaga en la localidad de Yurimaguas”, tuvieron como objetivo analizar geomorfológicamente la dinámica fluvial del río Huallaga. La metodología empleada es la recopilación de datos de campo tales como sedimentos, hidrogramas, registro de caudales; modelamiento geomorfológico, hidrológico e hidráulico del río. Los resultados obtenidos muestran que el régimen del caudal varía con el tiempo teniendo meses de estiaje y otros de abundantes precipitaciones, el caudal promedio es de 2 969.5 m³/s, en el campo de acción de investigación el ancho promedio es de 325 m (Pudiendo migrar hasta 2km en épocas de crecidas) y presenta una socavación máxima de 16 m. Se concluye que los procesos geodinámicos más frecuentes es la inundación que abarca grandes extensiones próximos al río Huallaga, se identifica al socavamiento la erosión de los taludes de los ríos que es más frecuente en las zonas en donde hay meandros, considerando el caudal superior a 11 000 m³/s en épocas de crecidas.

En la investigación de Becerra et al [18] denominada “Validación de las ecuaciones empíricas de transporte de sedimentos por arrastre y suspensión empleando mediciones en campo”, tuvieron como objetivo validar las ecuaciones empíricas del traslado de sedimentos. La metodología empleada consiste en la extracción y análisis de las muestras que se generan por arrastre y suspensión de las partículas, resolución de las ecuaciones de transporte de sedimentos. Los resultados mostraron que la ecuación que mejor se ajustó para arrastre de sedimentos es la ecuación de Schoklistch, mientras que para la de suspensión la ecuación de Brooks. En conclusión, Las características hidráulicas y granulométricas de traslado de partículas de sedimentos del río Chancay –Lambayeque en los tramos de obtenidas indican que existe una incorporación concurrencia de sedimentos en las cercanías del puente Monsefú – Eten, influye mucho dos factores: la pendiente mínima y las máximas avenidas en los tiempos de enero a abril, pues en los meses de estiaje los sedimentos disminuyen luego queda depositado en varios tramos del río estudiado.

En la investigación de Mego [19] denominada “Modelación del flujo a superficie libre en el canal Taymi km 33+000 al km 38+000, Lambayeque”, tuvo como objetivo modelar el flujo a superficie libre en el canal Taymi, KM 33+000 al KM 38+000. La metodología empleada fue verificación de la geometría del canal, medición de caudales, toma de muestras de agua, ensayos de sedimentación, modelamiento hidráulico. Los resultados obtenidos muestran que las velocidades medidas en las estaciones indicadas fue que la velocidad mínima obtenida es de 1.65 m/s en el km 36+200 – km 36 + 225 y la velocidad máxima obtenida es de 2. 65 m/s en el km 37+200 – km 37 + 025, esto quiere decir, que las velocidades en el tramo estudiado no tienen mucha variación al igual que los datos ingresados al programa HEC – RAS. En conclusión, el canal Taymi no presentara problemas de sedimentación debido a la velocidad mínima de acuerdo al estudio es 1.65 m/seg, la velocidad de estudio es mayor a la velocidad mínima (0.762 m/seg) recomendada para no tener problemas de sedimentación.

En la investigación Chapoñan [20] titulada “Modelamiento hidráulico para el diseño de defensa ribereña en el río Rímac, sector Batasol, distrito de Lurigancho-Chosica, Lima, 2019” tuvo objetivo diseñar defensas ribereñas en los resultados del modelamiento hidráulico, para

el sector Batasol del río Rímac. La metodología empleada es descriptiva, teniendo como objetivo definir atributos y características de los fenómenos que se estudie. De la misma manera, es un diseño no experimental, donde se analizarán datos hidrológicos para proceder la modelación hidráulica y luego proyectar el muro de contención y enrocado. Los resultados fueron la realización de instalaciones de protección de ríos utilizando la topografía, características de la cuenca, la capacidad portante del suelo y los resultados de HEC-RAS 4.1 para proteger a la población ante posibles inundaciones del río Rímac. De tal manera que se desarrolló un conjunto de procedimientos relacionados con parámetros geográficos, estadísticos y de diseño estructural. Finalmente se concluyó que la propuesta es óptima para reducir la vulnerabilidad al desbordamiento del río Rímac en el sector Batasol, debido a que la altura evaluada depende de los parámetros hidrológicos e hidráulicos obtenidos como resultado de la modelación programa HEC -RAS, permitiendo la protección contra desbordamiento o niveles altos de agua.

Justificación e importancia de estudio

Justificación Técnica:

El modelamiento hidromorfodinámico constituye una herramienta potente para la simulación y estimación de efectos de agentes hidrológicos sobre diversos tipos de estructuras hidráulicas, como es el caso de los pilares de un puente.

Justificación Económica

El modelamiento hidromorfodinámico es una herramienta previsor del mantenimiento de estructuras hidráulicas.

Justificación Social

El modelamiento hidromorfodinámico estima propuestas preventivas ante posibles futuros colapsos de puentes, causa que podría dejar incomunicado a 2 o más poblaciones como es el caso de los distritos de Chiclayo y Reque.

Justificación Ambiental

El modelamiento hidromorfodinámico además de ser una herramienta previsor de efectos hidráulicos en estructuras a causa de agentes hidrológicos, estimas crecidas de cauce, lo que permite elaborar un plan de contingencia ante posibles y futuros desbordes los cuales producirían efectos devastadores con impactos en la población y el medio ambiente.

1.2. Formulación del problema

¿La aplicación del modelo matemático TEDRI-1D7C sirve como herramienta en la prevención de efectos hidráulicos en los pilares del puente Reque?

1.3. Hipótesis

La aplicación del modelo matemático hidromorfodinámico TEDRI-1D7C permite prever efectos hidráulicos en los cimientos del puente Reque.

1.4. Objetivos

Objetivo General

Aplicar el modelo matemático hidromorfodinámico TEDRI-1D7C como herramienta en la prevención de efectos hidráulicos en los pilares del Puente Reque.

Objetivo Específicos

- Determinar los datos topográficos y mecánica de suelos dentro del área de estudio que comprende la investigación.
- Determinar los parámetros hidrológicos y morfodinámicos del Río Reque a usar en el modelo matemático.
- Aplicar el modelo matemático teniendo en cuenta las condiciones de frontera.
- Estimar los posibles efectos hidráulicos a ocasionarse en los pilares del Puente Reque.

1.5. Teorías relacionadas al tema

Proceso de erosión

Comportamiento de vórtices en el flujo de un cauce natural

Graham et al [21] Menciona los vórtices son originados por el cruce o choque de movimientos de masa de agua alrededor de un eje imaginario, lo que originando remolidos verticales descendentes que empujan hacia abajo las partículas suspendidas y producen una fuerza vertical hacia abajo que impacta al lecho produciendo el desplazamiento de las partículas (Vórtice de herradura) ocasionando lo que se llama erosión local, y a su vez el hundimiento de este generando lo que se denomina fosa.

Beaumont, Kwasniok y Thuburn [22] La importancia de identificar y conocer la geometría y forma del foso de erosión es con el fin de comprender mejor la dinámica y comportamiento de la misma, pues, el transporte de sedimentos depende del deslizamiento y dinámica de ellos sedimentos que se encuentran acumulados debido a los vórtices.

Según Eckhardt [23] Para casos donde existe pilares de geometría irregular, el flujo acelera alrededor del mismo, el gradiente vertical de velocidad se convierte en un gradiente de presión impactando sobre el área mojada de la estructura sumergida, este provoca una corriente vertical hacia abajo que choca con el lecho y forma un foso (Vórtice de herradura), por otra parte, en la parte superior se generan vórtices activos que levantan desde el fondo, partículas del lecho removidas por la erosión, suspendiéndolas.

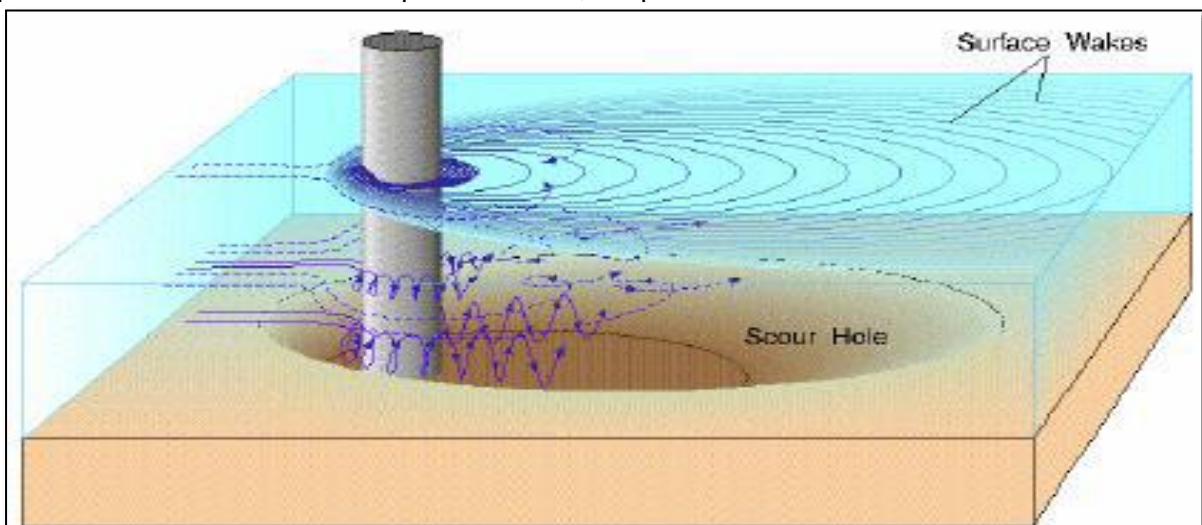


Figura 1 Esquema geométrico de la perturbación del flujo causado por un pilar

El proceso de erosión se inicia cuando la aceleración del flujo crea remolinos alrededor del pilar, lo que inicialmente genera vórtices primarios, los cuales van incrementándose conforme se va profundizando mientras que el flujo se va logrando el equilibrio. En la zona superior, aguas arriba, existe erosión más activa en donde ya se mencionó existen los vórtices de herradura

Capa límite de un fluido

Lachaussée Et al [24] Esta capa se da cuando existe flujos estacionarios que posee un Re muy grande que envuelve a la sección del pilar, en este instante, las ecuaciones de Naviers Stockes quedan sin efecto y son remplazadas por las de Euler. Se puede inferir, que cuando la capa limite sea más delgada, el gradiente de presión es pequeño, el número de Reynolds es más grande y la viscosidad cinemática tiene un comportamiento similar al de un flujo de viscosidad baja.

Chitrakar, Gunnar y Prasad [25] Cuando el flujo del cauce disminuye cerca de la superficie, se genera un gradiente de presión inverso al flujo el cual se denomina gradiente adverso. En este caso, se considera un flujo rotacional lo que hace que la capa limite sufra una separación de la superficie del cilindro ideal formado originando una estela (Que dependen del número del Reynolds y el coeficiente de arrastre) en la parte posterior del de la capa, en donde el flujo es muy inestable debido al vórtice.

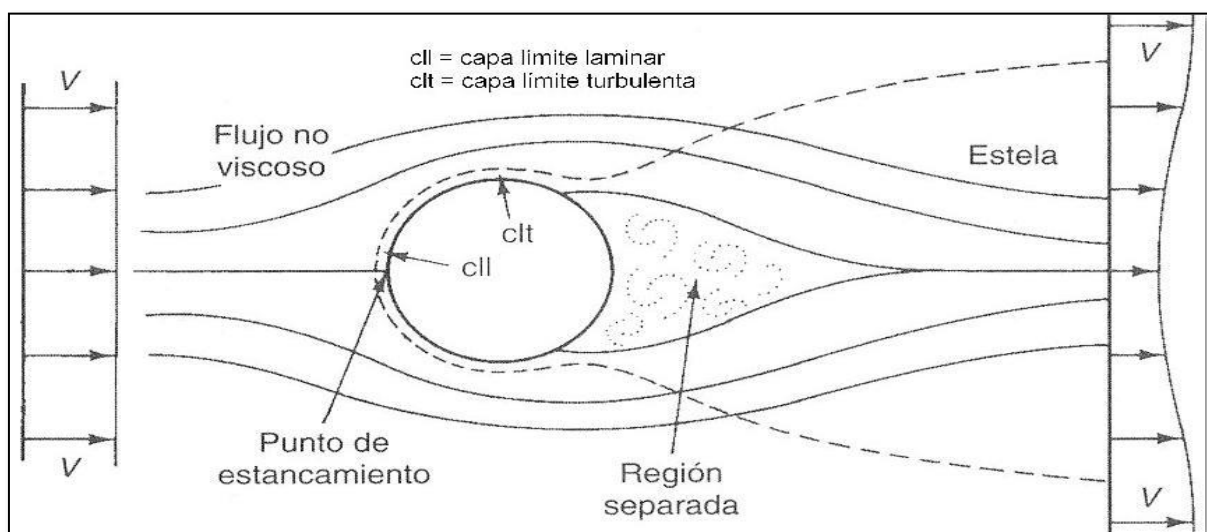


Figura 2 Estela generada a causa del vórtice en los límites de la capa [25]

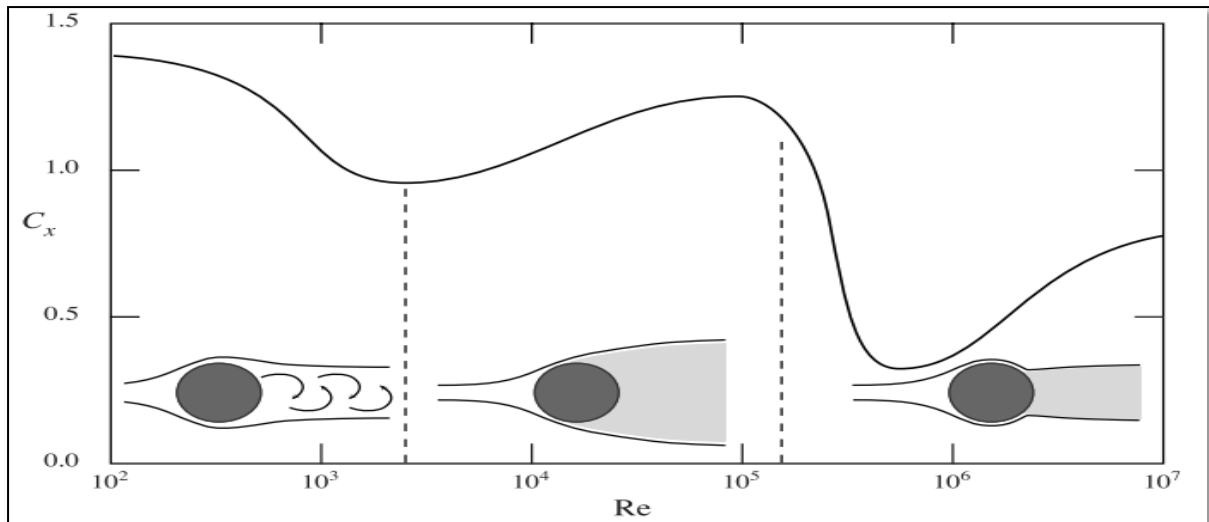


Figura 3 Dependencia y variación del vórtice de estela según el valor del número de Reynolds y el coeficiente de arrastre. [25]

Vórtices de Von Karman

Según Ramirez Et al [26] Son constituidos por el cumulo de vórtices en dos franjas, los cuales se originan al impactar el flujo del fluido con el área del pilar. Estos vórtices obtienen una velocidad equivalente a $0.8V_{\text{fondo}}$ (80% de la velocidad de fondo) y son trasladados aguas abajo del pilar. Así mismo, en la parte frontal del pilar existen un sinnúmero de partículas acumuladas las cuales generan un incremento de la velocidad, mientras que en la parte posterior ocurre todo lo contrario.



Figura 4 Calles de vórtices de Von Karman [26]

Formas de fondo causadas por vórtices.

López Et [27] al Posterior al efecto de un vórtice y generado un foso, este acumulará en sus exteriores una acumulación de sedimentos de diferente granulometría, ello tiene una forma piramidal y simétrica a la pila, la acumulación de partículas constituye un obstáculo al tránsito del flujo originándose perfiles de flujo característicos a nivel de la superficie libre del cauce.



Figura 5 Acopio y acumulación de sedimentos aguas abajo en los límites del pilar. [27]

Transporte de partículas o sedimentos

Clasificación del transporte de sedimentos

a. Según el modo de transporte

a.1. Por suspensión

esta se da cuando el flujo traslada partículas del fondo, en suspensión.

a.2. Por transporte en el fondo

Se da según la forma e intensidad del flujo, esta puede ser por rodadura, saltos o deslizamientos.

b. Según el origen del material

Según Córdova Et al [28] este tipo de clasificación, las partículas o sedimentos de menor diámetro y menos densidad, serán transportados por suspensión, mientras que los más pesados y más densos, será transportados por giros, deslizamientos o rodaduras. Así

mismo, los primeros suelen ser disgregados de las laderas, mientras que los segundos suelen proceder del fondo del lecho.

Características de los materiales del lecho (Sedimentos)

Según Cataño y Vélez [29] Por lo general, los materiales del lecho del río provienen de la disgregación de las montañas, laderas o rocas erosionadas por el transcurrir del tiempo. Esto hace que el fondo del lecho pueda presentar características cohesivas, granular o compactos, esto debido a la gravedad específica de los materiales que lo conforman, lo que hace que la erosión dependa mucho de la clase de suelo que disponga el lecho del río.

Higgins Et al [30] Sabemos que los sedimentos poseen formas irregulares, para ello asumimos la hipótesis que son de forma elipsoidal o esféricas con un diámetro D_n , esto se puede esquematizar en una curva de granulometría la cual resulta de un ensayo de laboratorio considerando una mediana de la muestra con diámetros de D_{85} y D_{50} (Se resalta que un $D_{n\%}$ representa que únicamente un $n\%$ de la muestra tiene diámetros menores a los de D_{85} y D_{50}).

Estadísticamente podemos asumir que la media D_m es:

$$D_m = \frac{\sum Di * Ai}{\sum Ai}$$

Donde la desviación típica σ^2 esta en función de la fracción unitaria por clase "i" (Ai), y por centro de clase Di , y se representa por:

$$\sigma^2 = \frac{\sum Ai (Di - D_m)^2}{\sum Ai}$$

Urcadiz y Ortega [31] Podemos analizar la desviación, si esta es menor a 3, el material puede ser uniforme o puede estar mal graduado, mientras que, si es menor a 3, su granulometría es extendida y está bien graduada. Este último es más común en procesos de erosión, pues los de menor densidad y más pequeños son arrastrados por el flujo quedando en el lecho los más gruesos. A continuación, definimos los tipos de sedimentos según sus dimensiones.

Tabla 1

Tipos de sedimentos según su tamaño.

Designación	Diámetro (mm)
Cantos rodados	$D > 64$
Gravas gruesas	$4 < D < 64$
Gravas finas	$2 < D < 4$
Arenas	$0.062 < D < 2$
Limos	$0.004 < D < 0.062$
Arcillas	$D < 0.004$

Representación del principio de movimiento en sedimentos

Fernández Et al [32] Podemos representar el inicio de movimiento mediante el diagrama de Shields, el cual constan de 3 fases o zonas, una viscosa, intermedia y turbulenta.

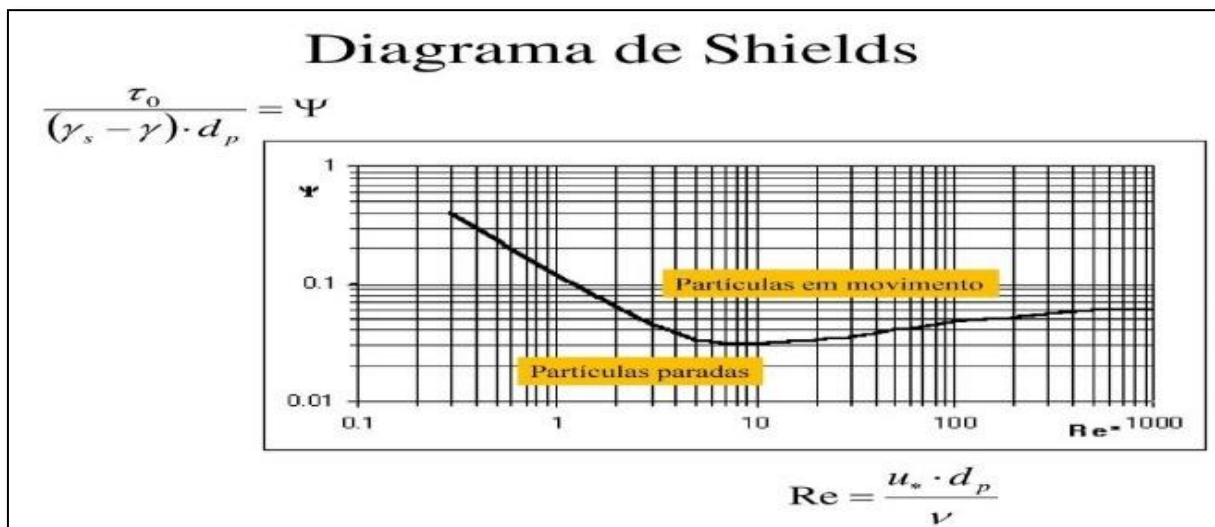


Figura 6 Diagrama de Shields [32]

Como podemos visualizar en la imagen anterior, el valor de ψ que es el parámetro de Shields en función de la tensión crítica de la siguiente manera:

$$\psi = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d_p} = \frac{D}{v} \left[0.1 * \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) * g * D \right]^{1/2}$$

Factores determinantes en la erosión local

Escolero Et al [33] Entre los factores que dan origen a la erosión en pilares tenemos al tirante, ángulo de ataque del flujo, forma o geometría del pilar, velocidad, aceleración y caudal del flujo, número de Froud, diámetro y gradación de los sedimentos.

Máxima erosión y evolución temporal

Escolero Et al [33] Esta se desarrolla en el instante en donde la velocidad local supera a la velocidad media generando vórtices multidireccionales, desplazando los sedimentos que se encuentran en el lecho regresando aguas arriba teniendo en cuenta la geometría del vórtice.

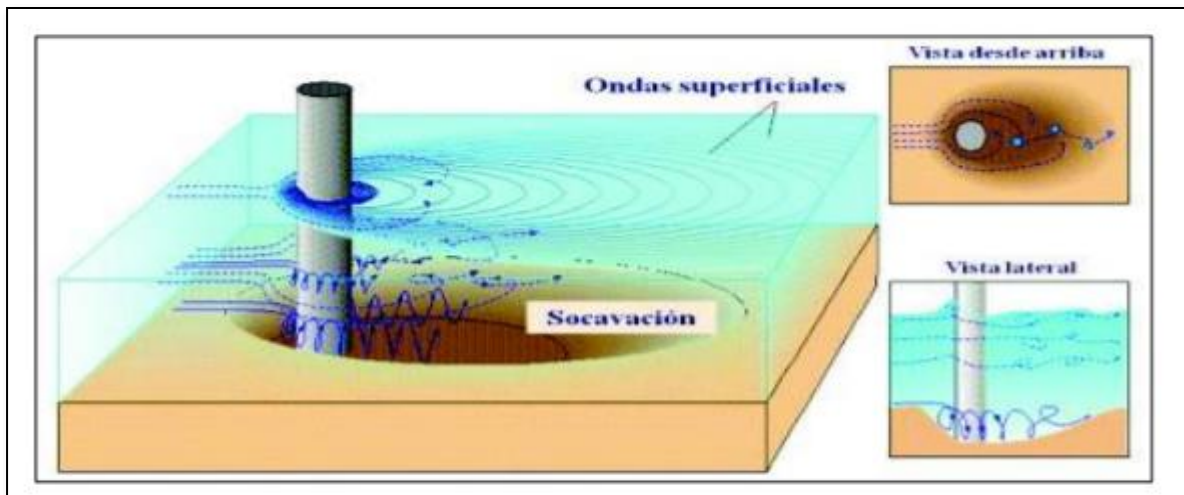


Figura 7 Esquema de vórtices en una pila circular. [33]

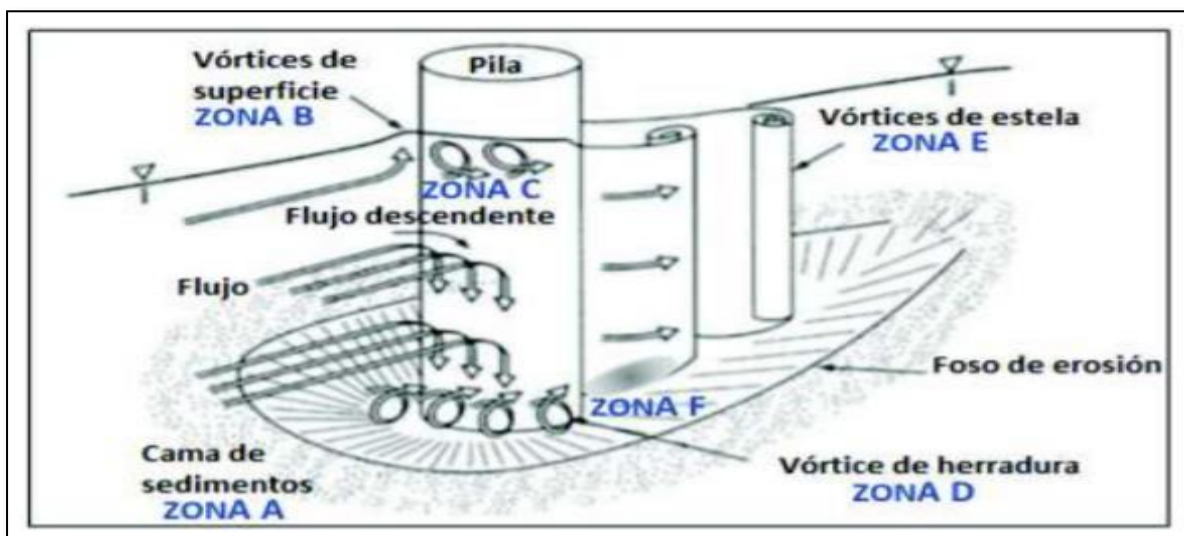


Figura 8 Esquema de erosión de pilas circulares. [33]

Identificaron de zonas de erosión:

Tabla 2

zonas de erosión:

Zona	Descripción
A	No se presenta movimiento de sedimentos.
B	Se forman vórtices de crecimiento gradual en función al perfil de velocidades debido al incremento de la misma.
C	Se genera incremento de la energía cinética debido al crecimiento de la velocidad, lo que hace que se forme una corriente vertical descendiente provocando un foso.
D	Los vórtices de herradura producen fosos en los límites del pilar y traslada sedimentos aguas arriba debido a la formación de un complejo sistema de vórtices.
E	Los vórtices de estela se generan por la separación del flujo generando torbellinos inestables que trasladan los sedimentos aguas debajo del pilar.
F	Se produce la máxima erosión detrás del pilar cuando se unen los vórtices de herradura y estela.

Modelamiento morfodinámico

Modelo morfodinámico para la erosión

Quesada y Barrantes [34] Este modelo está fundamentado en la potencia de flujo, es decir que las líneas de flujo deben de tener una potencia máxima para que pueda provocar movimiento en las partículas sedimentadas para producir el fenómeno de erosión, por tal motivo es de muy importante cuantizar el valor de la potencia.

Dos Santos, Colonna y Beatriz [35] Para poder cuantizar la erosión, es necesario representarla como una suma de subprocesos, uno activo y uno pasivo. El activo es

desarrollado en la parte baja del foso, justo al lado del pilar en aguas arriba en donde se convierte en la principal causa de la erosión generándose un vórtice al chocar el flujo con la estructura mojada.

Modelo de TEDRI-1D7C

Según Basile [3] Denominado TEDRI 1D7C, Transporte y Erosión Deposición en Ríos Dimensional 7 Clases granulométricas; este modelo simula las transformaciones y relación caudal – lluvia; por otra parte, este modelo simula la evolución temporal y espacial de los procesos de erosión, transporte de sedimentos y granulometría.

Descripción del modelo TEDRI-1D7C

Modelado de procesos y fenómenos hidrológicos

Según Córdova, Hernández y Benites [36] Este método penaliza la data pluviométrica en cada subcuenca a través de la convolución de los hidrogramas unitarios sintéticos (HUS) y los instantáneos (HUI) con el histograma pluviométrico neto. El HUI podemos obtenerlo de la siguiente expresión teniendo en cuenta que $u(t)$ es la ordenada y esta expresada en $\text{mm}^3/\text{msnm}.$:

$$u(t) = \frac{V_0}{k(n-1)} e^{-\frac{t}{k}} \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1}$$

Por otra parte, podemos expresar la ordenada HUS mediante la siguiente expresión siendo $V_p^* A$ un valor adimensional que representa el volumen acumulado respecto a un tiempo pico, T_p es el tiempo pico:

$$u_p = \frac{0.5556 V_p^* A}{T_p}$$

$$T_p = 0.5t_n + t_p = 0.5t_n + \beta T_c$$

Donde T_n representa el tiempo de retardo, β es una constante de valor 0.6.

Así mismo, podemos definir el tiempo de concentración mediante la fórmula de Ventura, teniendo en cuenta el valor de α (0.03 a 0.15) y el area en km^2

$$T_c = \alpha \left(\frac{A}{S_{bm}}\right)^{0.5}$$

Finalmente, el tiempo de HUS podemos expresarlo en función a los coeficientes β y V^*p

$$t_b = \frac{1}{V_p^*} T_p$$

Modelación de procesos y fenómenos hidrodinámicos

Méndez, Córdova y Bravi [37] Este modelamiento está basado en función a la ecuación de Saint Venant unidimensional, donde se puede despreciar algunos términos de carácter inercial y referentes al gradiente de presión. Por otra parte, podemos realizar este mismo proceso para un análisis bidimensional teniendo en cuenta las restricciones dadas por las condiciones de frontera del fenómeno.

Modelación de la morfodinámica del cauce de un río.

Marcano [38] Este modelamiento se expresa en función a un proceso fraccional de transporte, procesos de deposición – erosión, así como los cambios producidos por la dinámica de lechos de ríos. Podemos describir dos submodelos, uno de dos estratos, el cual simula el transporte de partículas en suspensión como un conglomerado el cual se asume posee condiciones de equilibrio. Un segundo modelo, el de tres estratos, el cual asume que el transporte de partículas en suspensión es una incógnita (Condición de no equilibrio), este modelo es el más usado en modelamiento morfodinámico.

Ecuaciones de transporte para modelos morfodinámicos.

Las ecuaciones empleadas según Omara Et al [39] para modelos morfodinámicos son:

Ecuación de Engelund y Hansen

$$\frac{Q_{ti} * (s - 1) * g}{B u_*^3} = \alpha_{eh} * f_i * c_f^2 * \tau_{*i} * \xi_{oi}$$

$$\tau_{*i} = \frac{\tau_b}{g * (\rho_s - \rho) * d_i}$$

Ecuaciones di Silvo

$$Q_{t_i} = \alpha_{ds} * f_i * \frac{Q^m * S_b^n}{B^p * d_i^q} * \xi_{oi}$$

$$\xi_{oi} = \left(\frac{d_i}{d_m}\right)^b$$

Ecuaciones de Van Rijn

$$Q_{si} = f_i * \alpha_s * Q * \frac{d_i}{h} * D_{*i}^{-0.6} * \left[\frac{U - U_{cti}^{correccion}}{(s-1) * g * d_i} \right]^{2.4}$$

Ecuaciones de Meyer – Peter y Müller

$$\frac{Q_{ti}}{B \sqrt{(s-1) * g * d_i^3}} = \alpha_{mpn} * f_i * (\tau_{*i} - \xi_{ci} * 0.047)^{1.5}$$

Softwares utilizados en el modelamiento.

Software iRIC v2

Según Meza Et al [40] iRIC desarrolla e implementa cálculos y simulaciones de fenómenos relacionados con el cauce del río los cuales sirven con fines de prevención y/o contingencia ante potenciales efectos negativos que pudiesen originarse como consecuencia de la variación temporal de las variables en estudio. Este software está basado en tres etapas: preprocesador, post procesador y el solucionador.

Software CCHE2D

Según Múnera [41] Esta basado en la solución de las ecuaciones de Navier Stokes para las profundidades promedio bidimensional, este software usa mallas rectangulares discretizadas exponencialmente mediante la aproximación de Boussinesq para esfuerzos de corte en sistemas turbulentos, vórtices, remolinos, etc. Los cálculos realizados son bajo el régimen de sedimentos no uniformes, posee un módulo en donde se incluyen la solución de ecuaciones transporte de sedimentos con cagara suspendida y de fondo.

Software HEC-RAS

Según Agudelo Et al [42] Basado en el principio de conservación de la energía, este software cuantiza las perdidas energéticas a través de la ecuación de Manning, utiliza discretizaciones del tipo lateral, en donde cuantifica las variables hidrológicas e hidráulicas a través de un modelo matemático el cual resolverá y simulará en función a una línea temporal.

Software FLOW-3D

Según Hernández [43] Este software es uno de los líderes en la ingeniería de modelamiento de fluidos, posee una interfaz que permite modelar sistemas confinados, libres, turbulentos y caóticos, así mismo, debido a su interfaz dinámica en donde realiza discretizaciones espaciales y temporales a través del uso de mayas mixtas tanto rectangulares como triangulares con sus condiciones de contorno, simula la relación e interacción entre variables y estructura, fuerza estructura, tensiones y deformaciones obre cuerpos de agua en movimiento. tes sobre cuerpos.

II. MATERIALES Y MÉTODO

2.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo

Investigación del tipo Cuantitativa – Tecnológica, debido a que se realizaron simulaciones numéricas con el fin de estimar y prever efectos hidráulicos en los cimientos del puente Reque.

Se puede representar simbólicamente como: $X_1 \rightarrow X_2$

donde:

X_1 : Modelamiento hidromorfodinámico TEDRI 1D7C.

X_2 : Efectos hidráulicos en los cimientos del puente Reque.

Diseño

Del tipo No Experimental, pues implica realizar trabajos de gabinete a través de simulaciones por computadora.

2.2. Variables y operacionalización

Operacionalización de las variables

Tabla 3 Operacionalización de las variables

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Valores finales	Tipo de variable	Escala de medición	
Modelamiento matemático hidromorfodinámico TEDRI 1D7C	Herramienta computacional de Transporte y Erosión-Deposición en Ríos - 1 Dimensional 7 Clases granulométricas, permite simular y representar la evolución temporal de caudales, erosión, transporte de sedimentos, socavación, etc. (Basile & Riccardi, 2017)	Cálculo realizado mediante métodos numéricos en el software Hec-Ras, en donde se introducen variables morfológicas, hidrológicas e hidráulicas. (Basile, P.A; Riccardi, G; Peruzzo, F; García; M., 2017)	Topografía	Topografía	Equipo Topografico (Estacion Total) - Aeronave no Tripulada (DRON)	Modelo Digital de Elevaciones (DEM)	Variable Independiente	Razon	
			Estudios hidráulicos, e Hidrológicos	Caudales Máximos (m ³ /s)	Data de precipitaciones	Datos obtenidos por la pagina oficial de SENAMHI			Caudal de Diseño (m ³ /s)
			Data Hidrometeorológicos	Data de temperatura	Data de velocidad Viento				

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Valores finales	Tipo de variable	Escala de medición
Prevención de efectos hidráulicos en los cimientos del puente Reque	Representado por la elaboración de una matriz de prevención de efectos hidráulicos en estructuras hidráulicas de puentes tales como pilares, cimientos y estribos. (Betancur Pérez, Toro Botero, & Gómez Giraldo, 2016)	Esta matriz estará conformada por los informes de cálculos y proyecciones numéricas de los efectos hidráulicos en cimientos del puente de Reque.	EMS	<p>Humedad (%)</p> <p>Granulometría (%)</p> <p>Gravedad Específica</p>	Equipo de Penetración estandar para la extracción de Muestras (SITU), y equipos y/o instrumentos de laboratorio, NORMA E.050 SUELOS Y CIMETACIONES	Informe Estudio Mecanica de Suelos, detallando el resultado Granulometria	Variable Dependiente	Razon

Variables

Tabla 4

Variables de estudio.

Tipo de Variable	Simbología	Variable
Independiente	Y1	Modelamiento matemático hidro morfodinámico TEDRI 1D7C
Dependiente	Y2	Prevención de efectos hidráulicos en los cimientos del puente Reque

2.3. Población de estudio y muestra

Población

Representado por todos los puentes situados en el cauce del río Reque.

Muestra

Tabla 5

Técnicas de recolección de datos.

Técnica	Descripción
<i>Observación.</i>	Visitas de campo al río reque
<i>Topografía</i>	Levantamiento de información topográfica, coordenadas, relieves, etc.
<i>EMS, Estudio de mecánica de suelos.</i>	Proceso en laboratorio para determinación de sus parámetros físico mecánicos.
<i>Medición con odómetro.</i>	Metrados de los cimientos y pilares del puente de Reque.
<i>Trabajo de gabinete.</i>	Arreglo, sistematización, formulación, calculo numérico de la data obtenida.
<i>Modelamiento</i>	Herramienta computacional para estimación y análisis numérico de data.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnicas de recolección de datos.

Instrumentos de recolección de datos.

Tabla 6

Instrumentos de recolección de datos.

Instrumento	Descripción
Guías, bitácoras, información hidromorfohidrológica.	Precipitaciones de SENAMHI
Software de aplicación en ingeniería.	AutoCAD 2021, Google Earth, ArcGIS 10.5, QGIS, Hec Ras.
Equipos, herramientas, varios.	Estación total, GPS, distanciómetro laser, herramientas manuales para excavación y muestras de calicatas.

Confiabilidad de datos

La confiabilidad estará dada por el coeficiente de correlación de Pearson, con el cual relacionaremos las variables en estudio. Los valores estarán limitados por las siguientes condiciones de contorno:

Tabla 7

Valores límites de Pearson

Valor	Relación
$r_{xy}=+1$	perfectamente positiva.
$r_{xy}=-1$	perfectamente negativa.

Método de análisis de datos

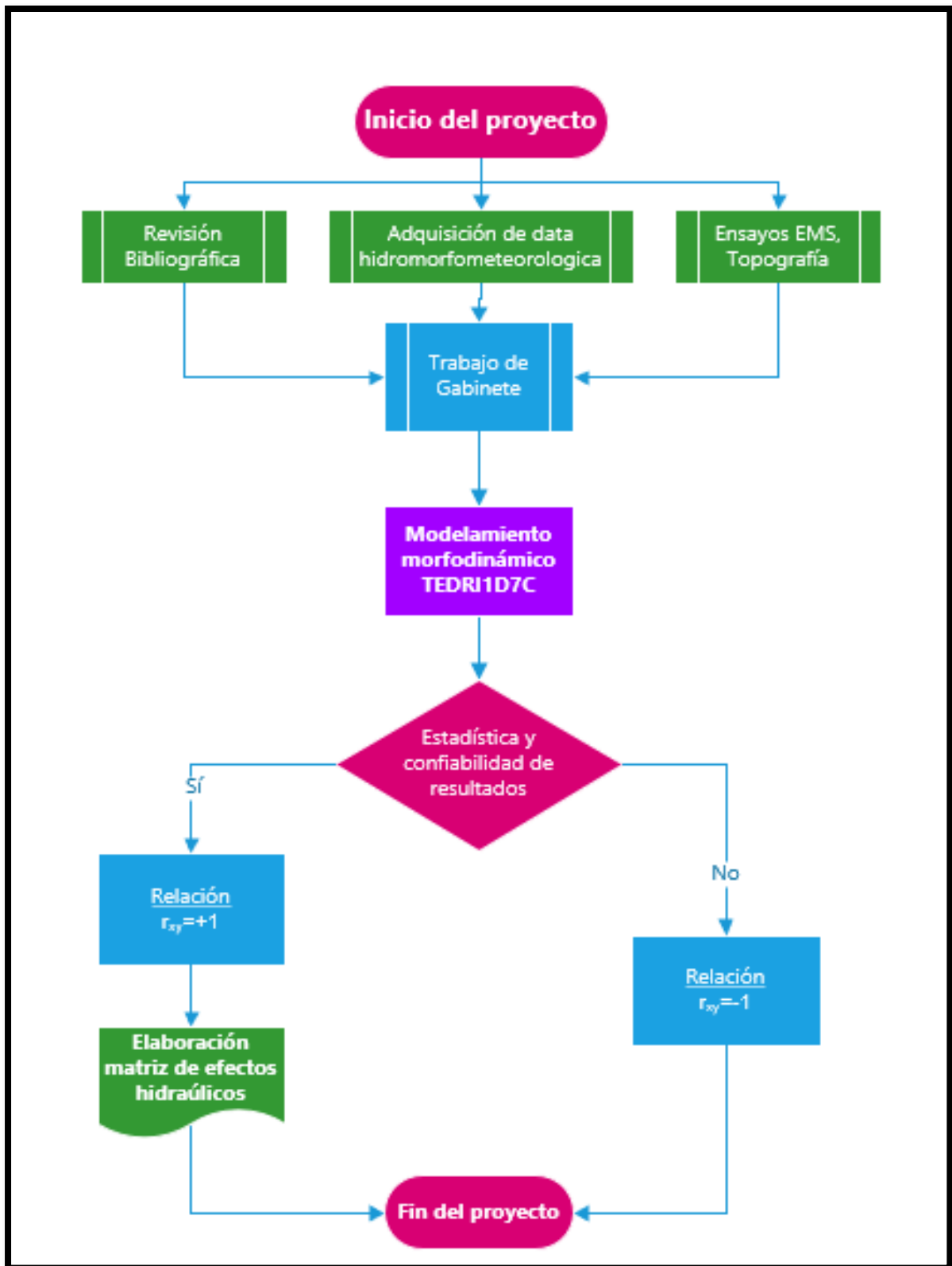


Figura 9 Método de análisis de datos

2.5. Procedimiento de análisis datos

Descripción de mi proyecto de investigación mediante un flujograma.

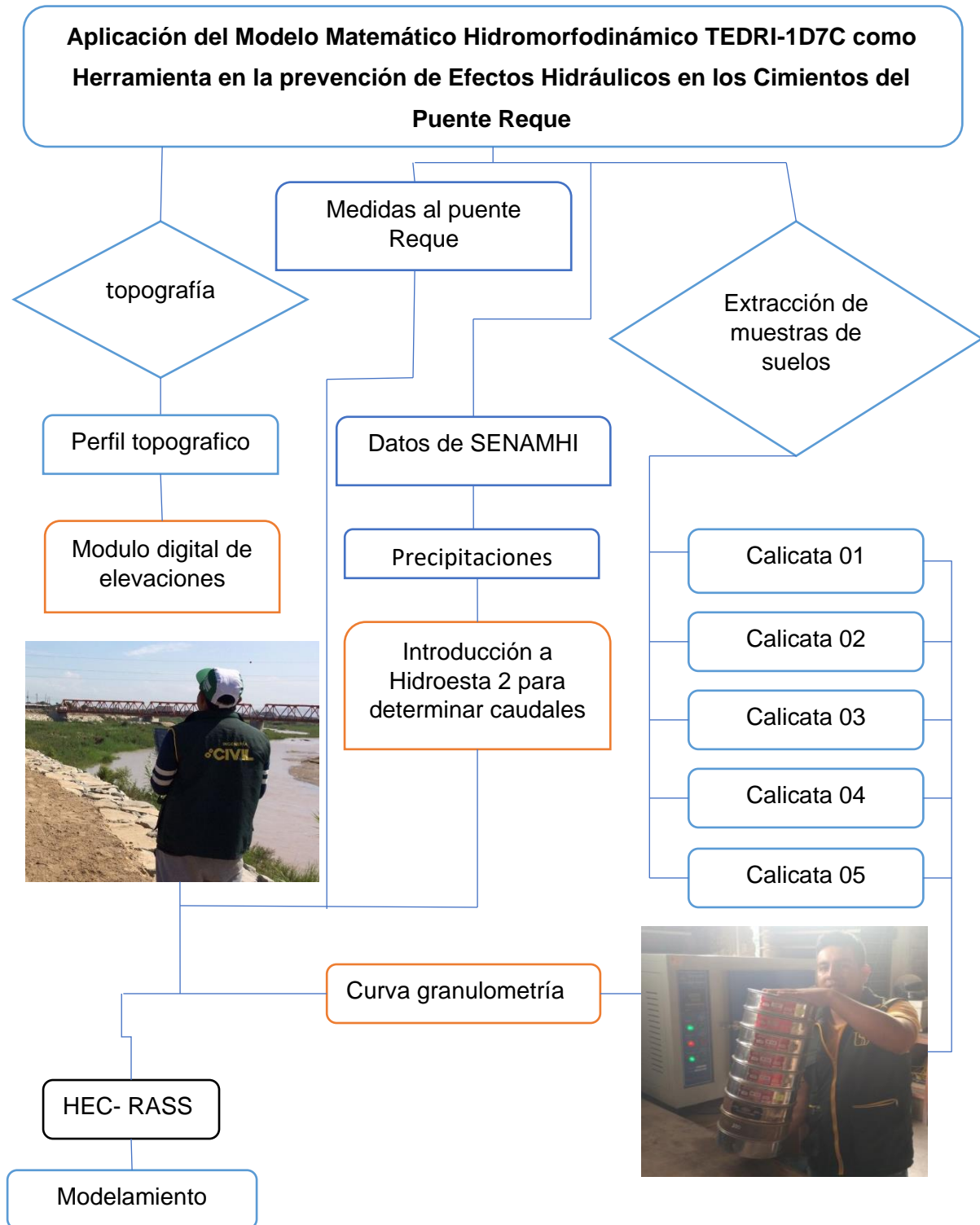


Figura 10 Procedimiento de análisis de datos

2.6. Criterios éticos

Este estudio respeta los derechos de autor de las fuentes consultadas, los modelos y modelaciones revisados y la metodología aplicada. Teniendo en cuenta el código de Ética en la investigación de la USS S.A.C [44]

Investigación científica: Es todo aquel estudio original y planificado que tiene como finalidad obtener nuevos conocimientos científicos y tecnológicos. La investigación científica se divide en investigación básica y aplicada.

Investigación fragmentada : Se denomina así a la práctica de fragmentar artificialmente una investigación en porciones menores o unidades publicables mínimas, que son presentadas como artículos independientes en diferentes revistas. Esos fragmentos no aportan aisladamente nada nuevo y le restan impacto a la publicación completa que debería haberse realizado

Integridad Científica: La integridad científica es el resultado de la adhesión a valores y buenas prácticas para conducir y aplicar los resultados del quehacer científico. La integridad científica se aplica en las fases de formulación, proposición y realización de la investigación científica, la comunicación de los resultados y las relaciones de cooperación y mentoría.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

Según objetivo 01

Área de estudio

Nombre del proyecto de investigación

“Aplicación del modelo matemático hidromorfodinámico en la prevención en efectos hidráulicos en los cimientos del puente Reque”

Ubicación

En esta investigación se realizó en el río Reque que se encuentra situado en la costa norte del Perú, en la región Lambayeque. Sus nacientes provienen de la Cordillera de los Andes y fluye en dirección noroeste hasta llegar a su desembocadura en el Océano Pacífico, su cuenca hidrográfica tiene un área de 2200 km².

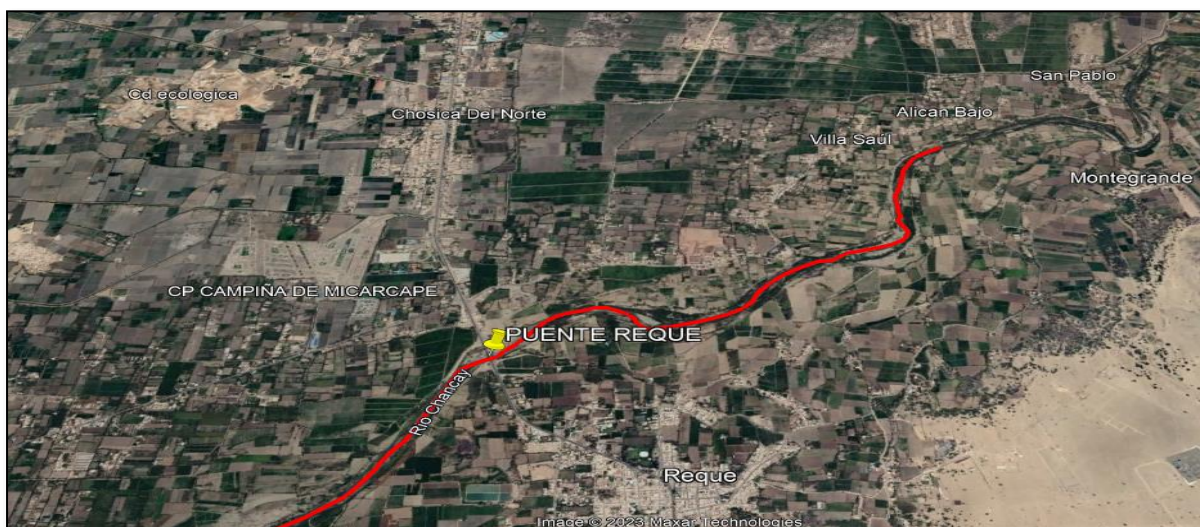


Figura 11 Ubicación del río Reque en función del flujo del río.

Fuente: Elaboración propia, Google Earth.

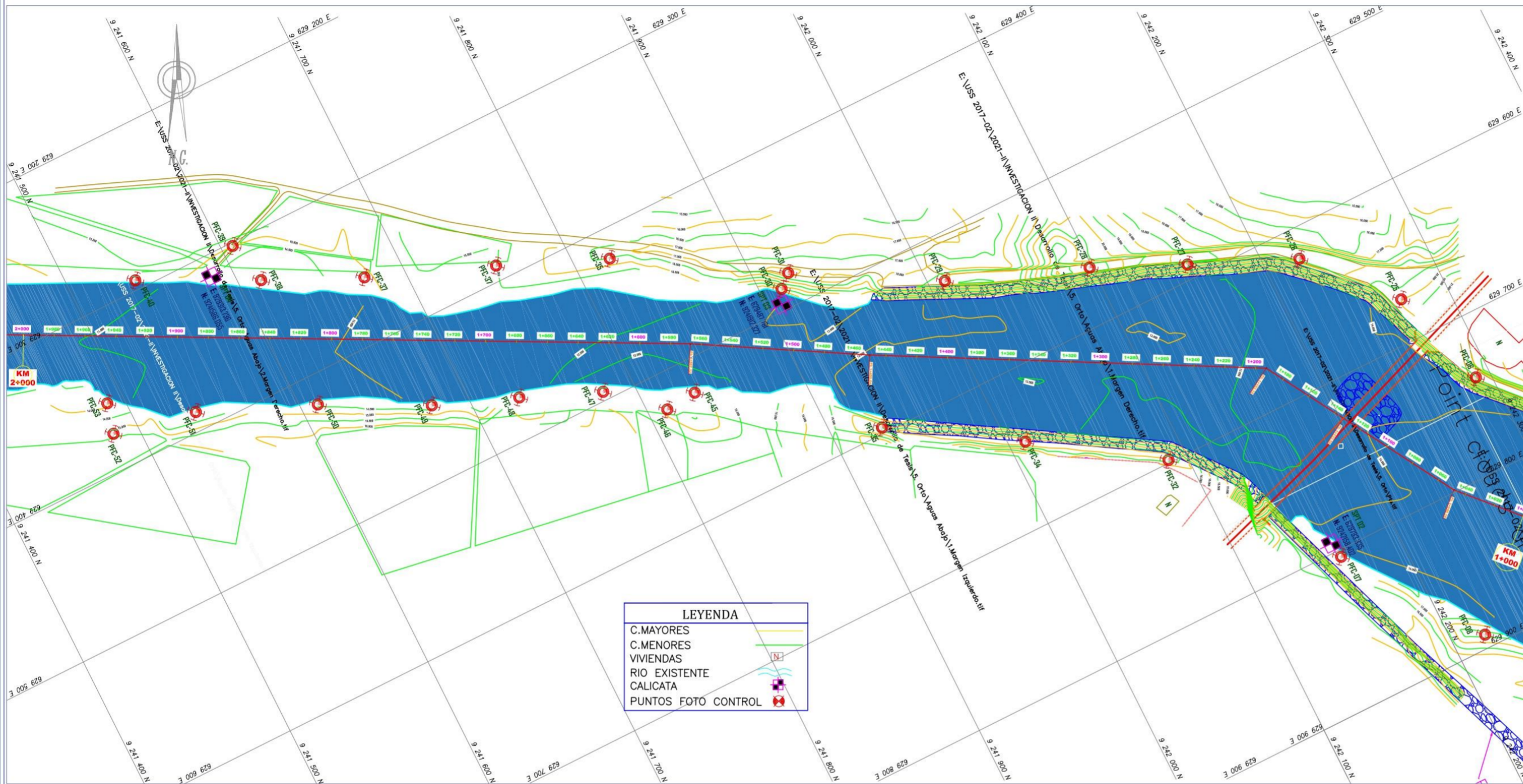
Estudio topográfico

Levantamiento topográfico

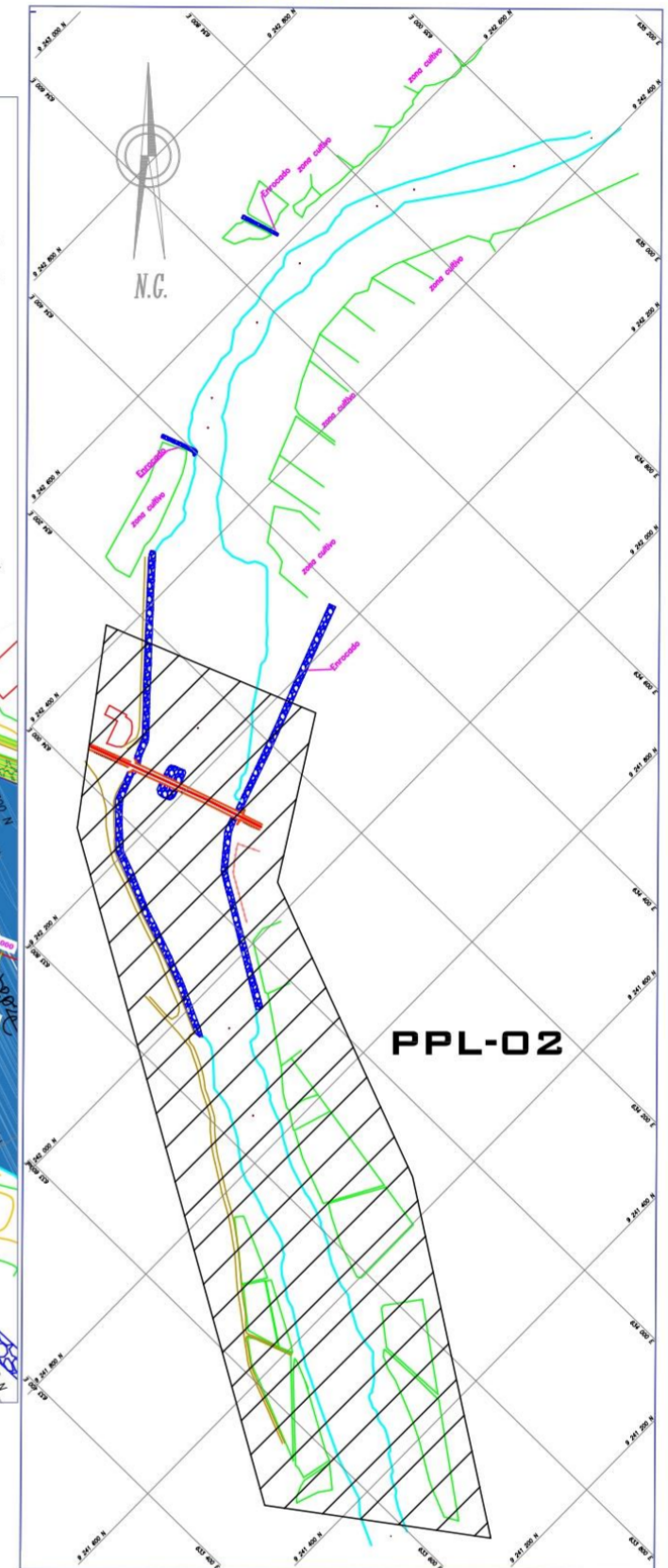
Se realizó el levantamiento topográfico con una aeronave remotamente tripulada (DRONE), iniciando 1 km aguas arriba del puente Reque y continuando 1 km aguas abajo del puente, información suficiente para poder realizar el modelamiento hidrodinámico. Obteniendo 1510 puntos.

Figura 12 Plano topográfico del río Reque

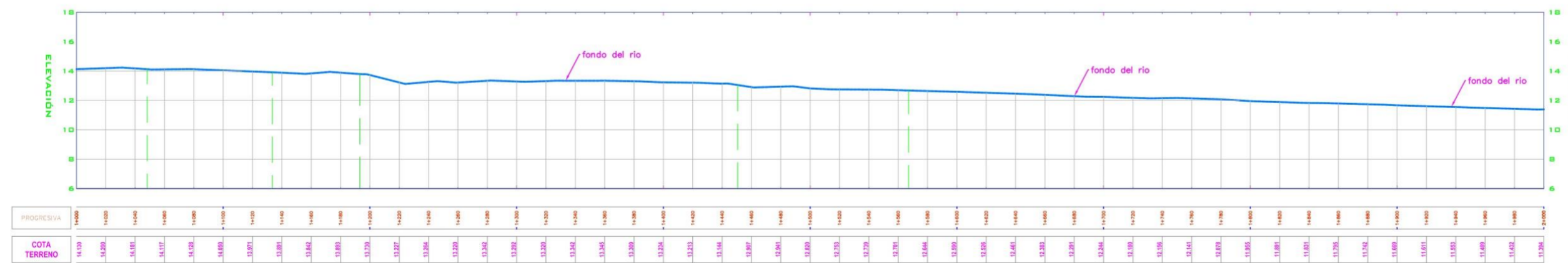
PLANTA RIO CHANGAY KM 1+000 - 2+000
ESCALA: 1/1500



PLANTA CLAVE
ESCALA: 1/5000

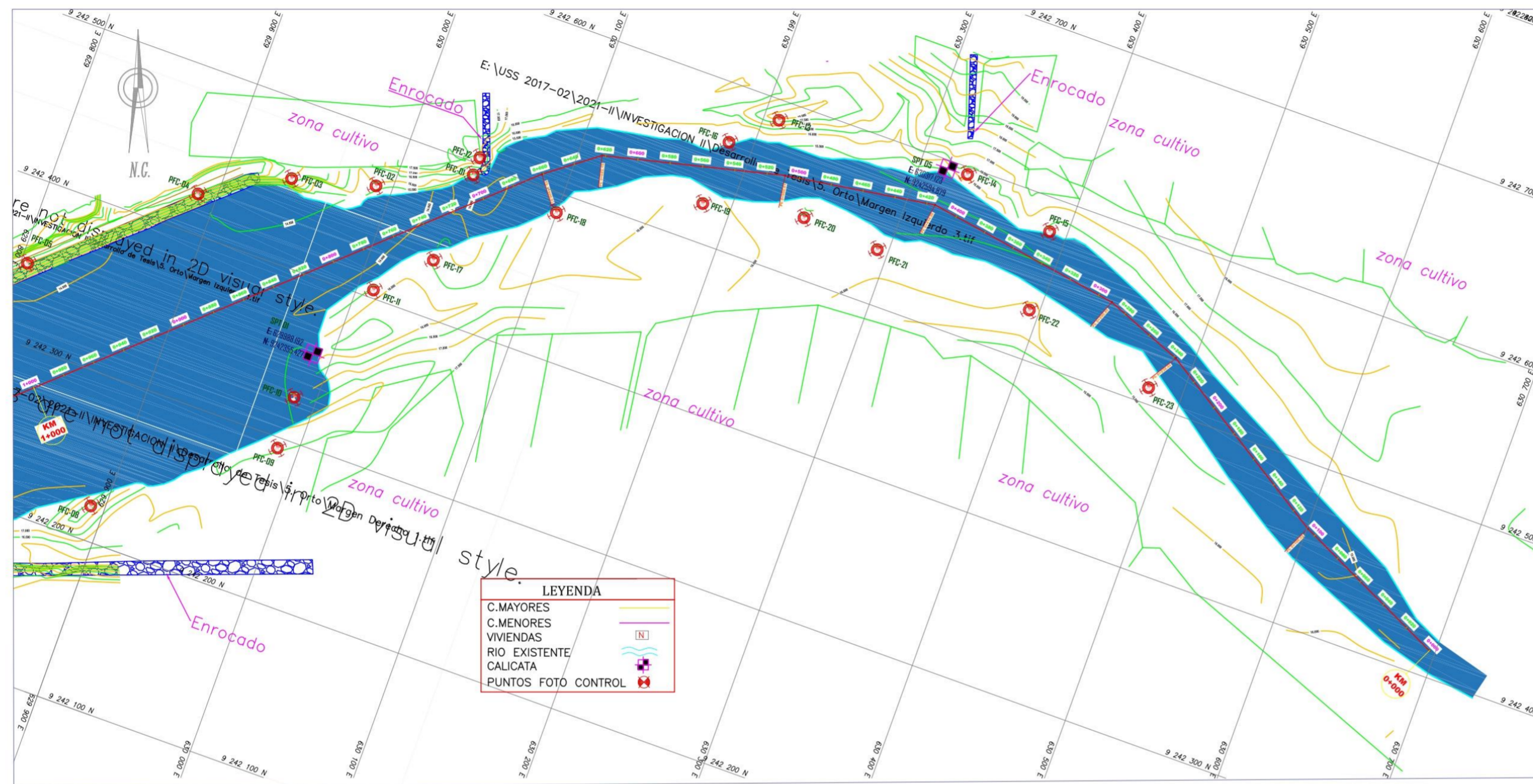


PERFIL LONGITUDINAL KM 1+000 - 2+000
ESCALA: H=1/2000 V=1/200



USS	UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN		
	APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO HIDROMORFODINÁMICO TEDRI-1D7C COMO HERRAMIENTA EN LA PREVENCIÓN DE EFECTOS HIDRÁULICOS EN LOS CIMENTOS DEL PUENTE REQUE		
PLANO:	PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL		
DEPARTAMENTO:	BACHILLER:	FECHA:	ESCALA:
LAMBAYEQUE	ALEXIS MELACIO YAJAHUANCA RONCAL	ABRIL 2023	INDICADA
PROVINCIA:	LOCALIDAD:	PPL-01	
CHICLAYO	REQUE		
DISTRITO:	REQUE	FECHA:	ESCALA:
REQUE	REQUE	ABRIL 2023	INDICADA

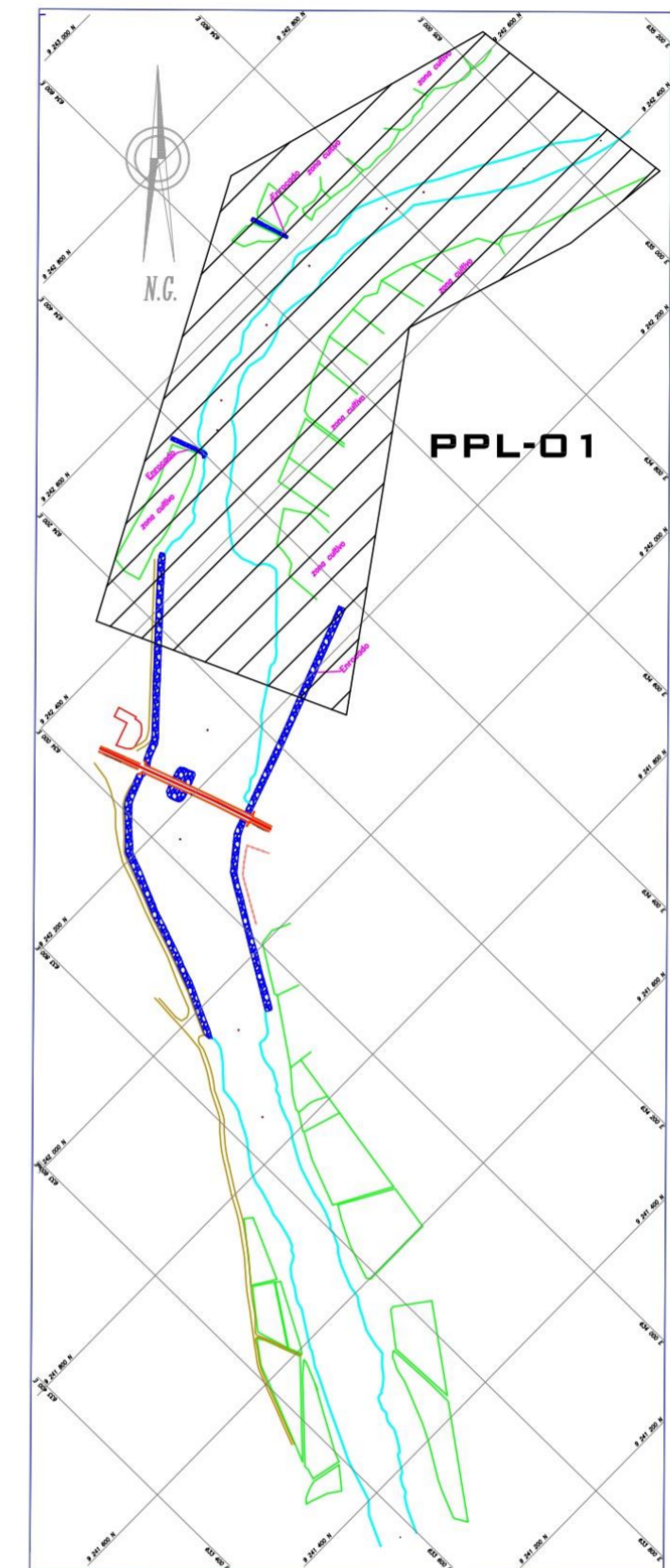
PLANTA RIO CHANCAY KM 0+000 - 1+000
ESCALA: 1/1500



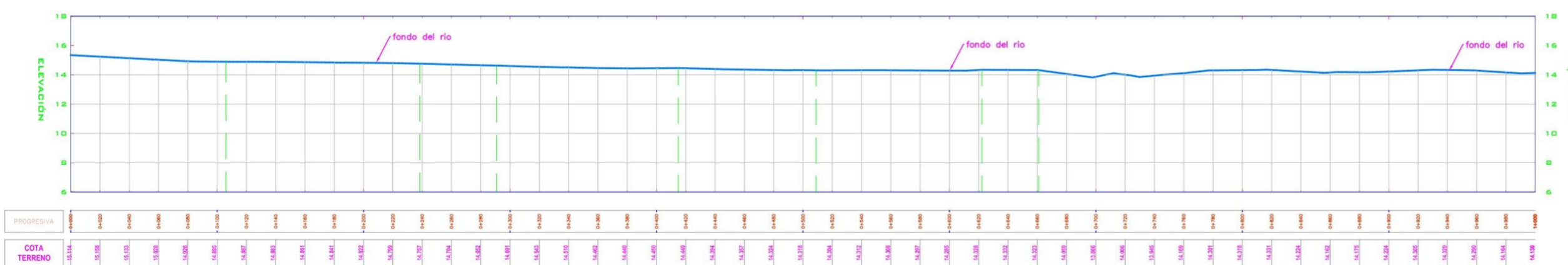
LEYENDA

C. MAYORES	
C. MENORES	
VIVIENDAS	
RIO EXISTENTE	
CALICATA	
PUNTOS FOTO CONTROL	

PLANTA CLAVE
ESCALA: 1/5000



PERFIL LONGITUDINAL KM 0+000 - 1+000
ESCALA: H=1/2000 V=1/200



USS	UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN		
	APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO HIDROMORFODINÁMICO TEDRI-1D7C COMO HERRAMIENTA EN LA PREVENCIÓN DE EFECTOS HIDRÁULICOS EN LOS CIMENTOS DEL PUENTE REQUE.		
PLANO: PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL 1+000 KM AGUAS ARRIBA			
DEPARTAMENTO: LAMBAYEQUE	BACHILLER: ALEXIS MELACIO YAJAHUANCA ROWCAL	LÁMINA N°:	
PROVINCIA: CHICLAYO	LOCALIDAD: REQUE	FECHA: ABRIL 2023	ESCALA: INDICADA
DISTRITO: REQUE			PPL-02

Trabajos de gabinete

Una vez obtenido los puntos del área de estudio y creado las curvas de nivel, se procedió a generar el MDE, el modelo representa la topografía de estudio en forma de una matriz de datos, cuyas celdas presentan valores como color y altura, el conjunto de dichas celdas genera una superficie en formato TIF, cuya extensión permite abrir el archivo en el software Hec Ras V6.1.

Estudio de mecánica de suelos

Se realizó un solo ensayo denominado granulometría, este ensayo fue necesario, debido a que el modelo matemático TEDRI 1D7C, hace referencia en el número "7", a las siete condiciones con las que se interactúa el modelo para el análisis hidráulico, las cuales son: El flujo del agua, la rugosidad de las riberas y el lecho del río, la geometría del río, la topografía del terreno, la calidad del agua y los sedimentos. Esta última condición se relaciona con granulometría del suelo del río Reque y su interacción con el flujo del río. En la investigación de Ángeles, [45] en el río Reque se tiene un suelo arenoso limoso según la clasificación SUCS, y la clasificación AASHTO, se tiene un suelo arcilloso plástico.

Determinación y ubicación de calicatas para el análisis granulométrico

Para la ubicación de las calicatas, se seleccionó 5 puntos de muestreo, tratando de que sean las más representativas a lo largo de los 2 km del río. La ubicación de las muestras

Tabla 8

Coordenadas UTM de las muestras

Muestra	Margen	Este	Norte	Df
01	Derecha	629989	9242480	2.00
02	Izquierda	629945	9242269	2.00
03	Eje del río	629781	9242235	2.00
04	Derecha	629631	9242139	2.00
05	Izquierda	629570	9241962	2.00

Las muestras extraídas fueron transportaron al laboratorio para realizar el ensayo granulométrico:



Figura 13 Localización de las 05 muestras extraídas

Ensayo granulométrico

Se realizó el ensayo granulométrico obteniendo los siguientes resultados:

Ensayo granulométrico de la muestra 01

Tabla 9

Ensayo granulométrico de la muestra 01

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido	Porcentaje que pasa
1/2"	12.700		100.00
3/8"	9.520	6.23	97.61
N°4	4.750	10.02	93.76
N°10	2.000	15.26	88.26
N°20	0.850	12.03	83.93
N°40	0.420	25.03	74.92
N°50	0.300	18.32	68.32
N°100	0.150	70.02	43.10
N°200	0.075	42.03	24.96

Se realizó el tamizado de la muestra 01 a partir del tamiz 1/2" hasta el tamiz N° 200.

Los resultados se observan en la tabla 09 y su grafica se presenta en la figura 14.

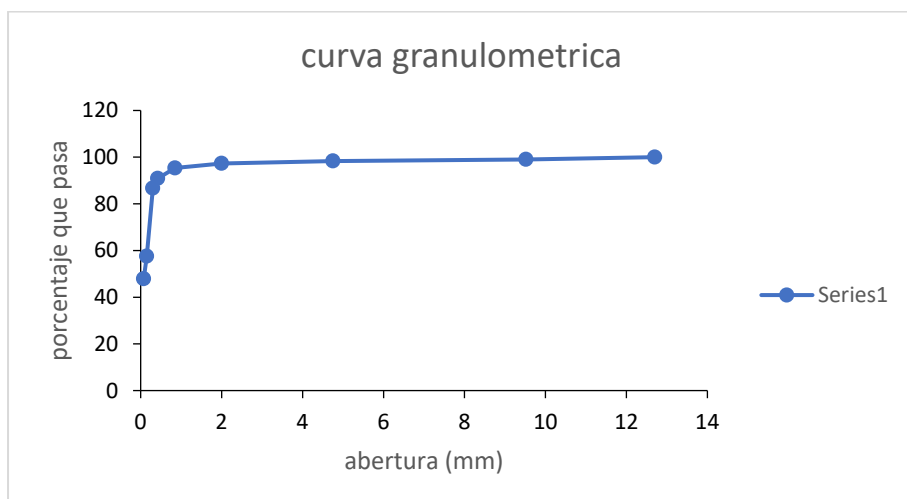


Figura 14 Curva granulométrica de la muestra 01

Ensayo granulométrico de la muestra 02

Se realizó el tamizado de la muestra 02 a partir del tamiz 1/2" hasta el tamiz N° 200. Los resultados lo obtenemos en la tabla 10 y su grafica en la figura 15.

Tabla 10

Resultados del ensayo granulométrico de la muestra 02

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido	Porcentaje que pasa
1/2 "	12.700		100.00
3/8 "	9.520	1.31	99.63
N°4	4.750	7.64	97.47
N°10	2.000	8.22	95.20
N°20	0.850	13.42	91.50
N°40	0.420	32.05	82.67
N°50	0.300	19.87	77.19
N°100	0.150	108.60	47.26
N°200	0.075	68.65	28.34

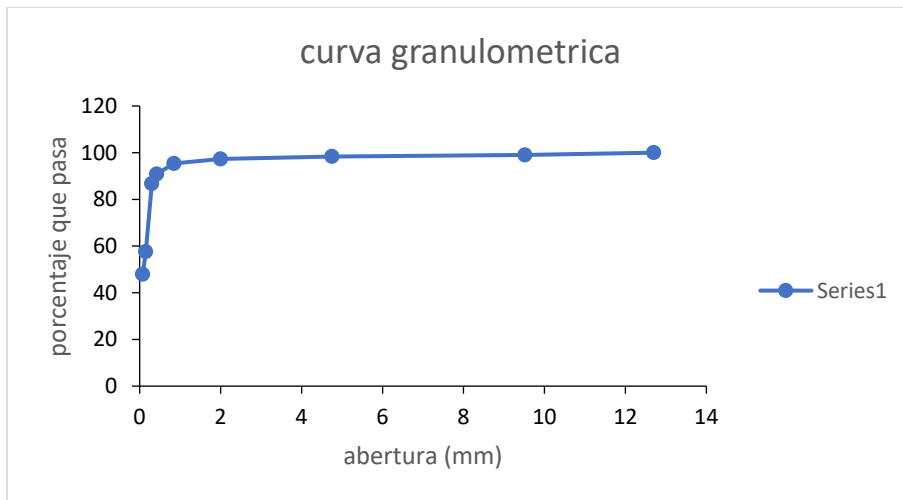


Figura 15 Curva granulométrica de la muestra 02

Ensayo granulométrico de la muestra 03

se realizó el tamizado de la muestra 03 a partir del tamiz 1/2" hasta el tamiz N°200. Los resultados lo obtenemos en la tabla 11 y su grafica en la figura 16.

Tabla 11

Resultados del ensayo granulométrico de la muestra 03

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido	Porcentaje que pasa
1/2"	12.700		100
3/8"	9.520	5.02	98.14
N°4	4.750	8.36	95.04
N°10	2.000	14.03	90.10
N°20	0.850	9.23	86.85
N°40	0.420	29.03	76.62
N°50	0.300	21.02	69.22
N°100	0.150	99.32	34.23
N°200	0.075	55.03	14.85

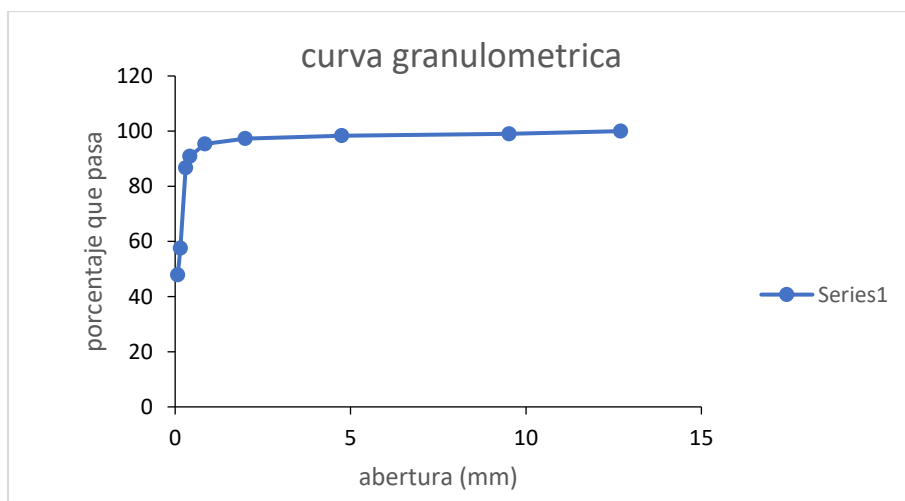


Figura 16 Curva granulométrica de la muestra 03

Ensayo granulométrico de la muestra 04

Se realizó el tamizado de la muestra 04 a partir del tamiz 1/2" hasta el tamiz N°200. Los resultados obtenemos en la tabla 12 y su grafica en la figura 17.

Tabla 12

Resultados del ensayo granulométrico de la muestra 04

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido	Porcentaje que pasa
1/2"	12.700		100.00
3/8"	9.520	2.27	99.24
N°4	4.750	2.36	98.45
N°10	2.000	2.29	97.70
N°20	0.850	6.84	95.46
N°40	0.420	13.04	91.18
N°50	0.300	12.55	87.06
N°100	0.150	92.05	56.85
N°200	0.075	36.09	45.01

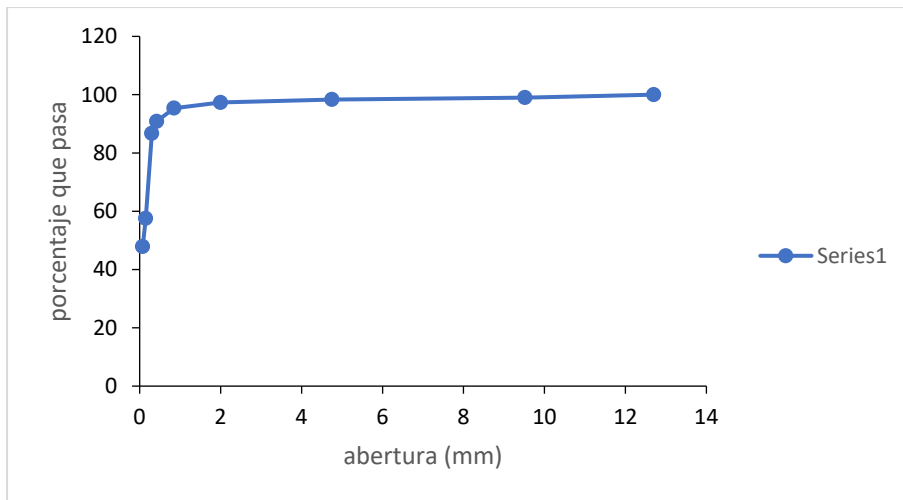


Figura 17 Curva granulométrica de la muestra 04

Ensayo granulométrico de la muestra 05

Se realizó el tamizado de la muestra 05 a partir del tamiz $\frac{1}{2}$ " hasta el tamiz N°200. Los resultados obtenemos en la tabla 15 y su grafica en la figura 18.

Tabla 13

Resultados del ensayo granulométrico de la muestra 05

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido	Porcentaje que pasa
1/2"	12.700		100.00
3/8"	9.520	3.02	99.01
N°4	4.750	2.01	98.35
N°10	2.000	3.21	97.31
N°20	0.850	6.03	95.37
N°40	0.420	14.02	90.85
N°50	0.300	12.89	86.69
N°100	0.150	90.33	57.56
N°200	0.075	30.02	47.88

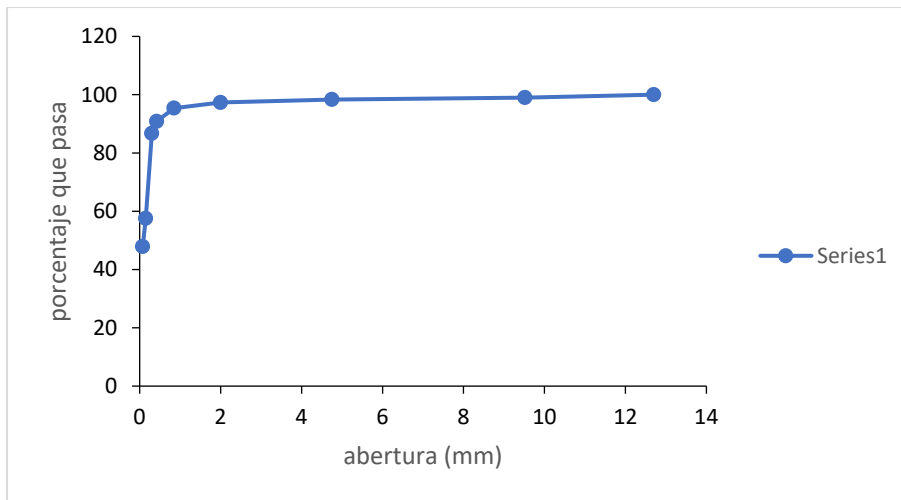


Figura 18 Curva granulométrica de la muestra 05

Según objetivo 02

Estudio hidrológico

Realizado en la presente investigación, tubo por objetivo calcular el caudal de diseño, se ha realizado al convertir los datos de precipitaciones máximas diarias anuales a valores de caudal con un determinado tiempo de retorno mediante en análisis estadístico.

Ubicación del estudio

La presente investigación se desarrolló dentro del río Reque, cuya longitud es de 170 kilómetros, tomando 2 kilómetros del mismo y como centro el puente Reque, en la cuenca hidrográfica del río Reque con un área de 2200 km².

Parámetros meteorológicos de la cuenca

Temperatura

La temperatura del distrito de Reque varía entre 19 °C y 30C iniciando en enero hasta marzo, entre 16°C y 21°C entre los meses de julio y setiembre, cuyos valores máximos alcanzan temperaturas de 30°C en verano y de 12.5 °C en invierno. (Municipalidad Distrital de Reque, 2023, párr.9)

Clima

El distrito de Reque tiene un clima Subtropical, cálido y árido, con un promedio anual de precipitación que está entre los 60 mm. Los meses de mayor precipitación son de diciembre a marzo y los meses con menos precipitación son mayo y octubre. La humedad

relativa suele ser baja debido a la aridez del clima. (“Clima de Reque”. (s.f.). En Lambayeque Perú, 2023)

Precipitaciones

Las precipitaciones promedio anual en el distrito de Reque están alrededor de 60 mm. Existen variaciones a lo largo de los datos de diferentes años debido a los cambios climáticos, estas variaciones van de 0 a 315 mm por año (Sistema de Información de Recursos Hídricos del Perú, 2017)

Parámetros morfológicos de cuenca Reque

Los parámetros morfológicos de la cuenca Reque han sido obtenidos mediante el software ArcGIS, teniendo como punto de aforo el puente Reque. Este software permitió delimitar la cuenca Reque en función del modelo digital de elevación obtenido de las cartas nacionales.

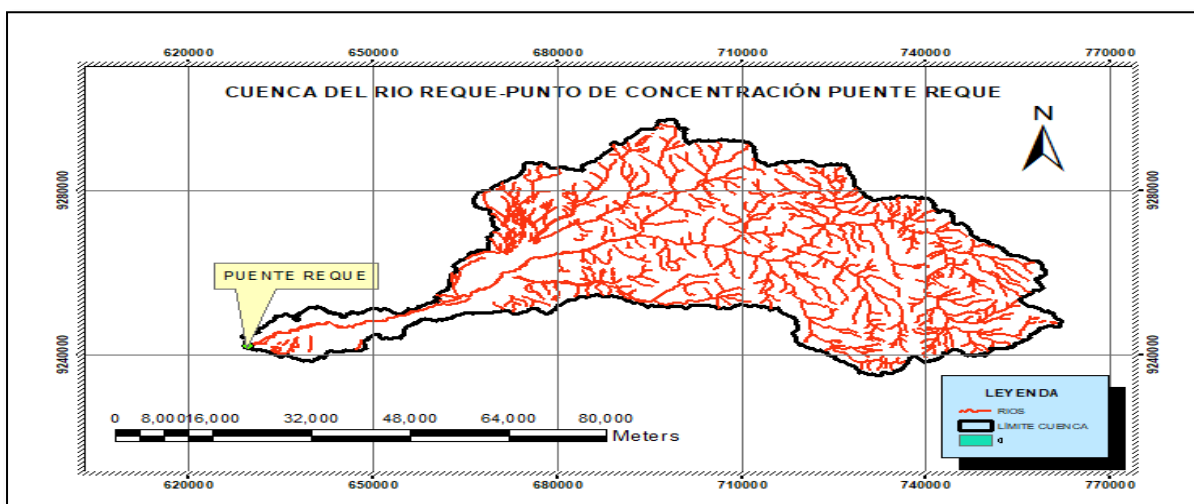


Figura 19 Cuenca hidrográfica del río Reque-punto de concentración Puente Reque.

Tabla 14

Parámetros morfológicos de la cuenca Reque

	parámetro	SIMBOLO		UNIDAD
1	Área de la cuenca	A	Km ²	2040.8
2	Perímetro	P	Km	438050.05
3	Longitud del río	L	Km	221.65
4	X centroide	x	m	7012234.9
5	Y centroide	y	m	9265253.5
6	Ancho de la cuenca	H	Km	16.58
7	Pendiente del cauce	SC	m/m	0.005
8	Coeficiente de compacidad	Kc	--	2039.29
9	Factor de forma	F	--	0.0748

Análisis estadístico de las precipitaciones

Los datos pluviométricos se obtuvieron de la plataforma del SENAMHI, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, para lograr calcular el caudal de diseño, para realizar el diseño se recolectaron las precipitaciones máximas anuales en 24 horas, las mismas que se han descargado de las estaciones que están en la cuenca Chancay.

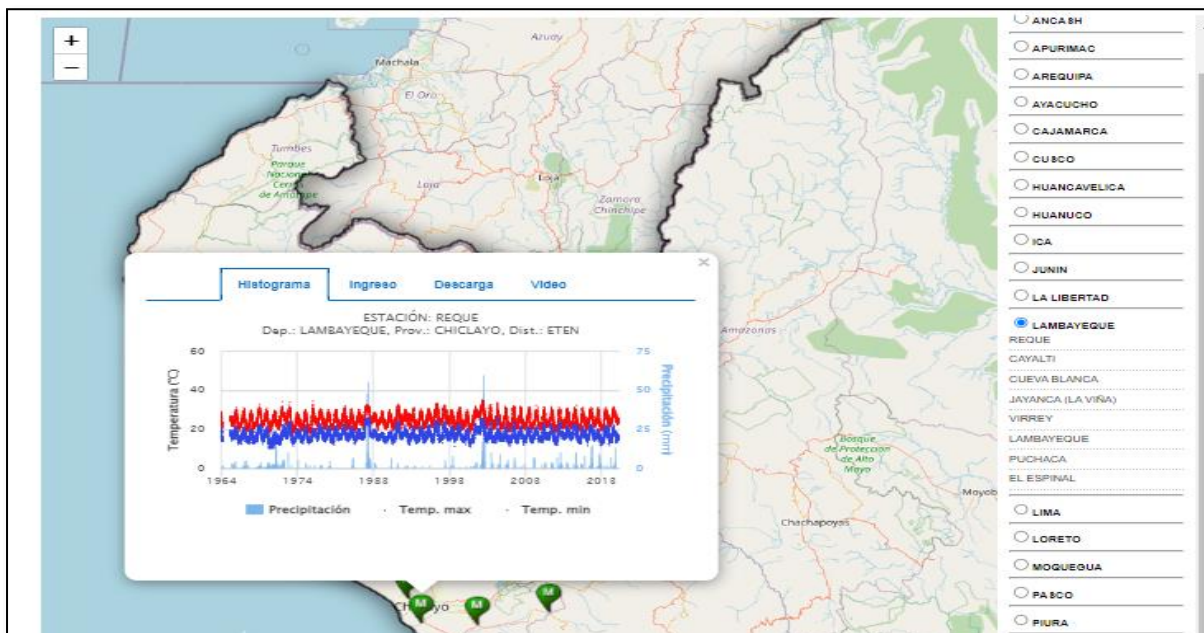


Figura 20 Ubicación de la estación Reque en el mapa de estaciones

Recolección y análisis de datos meteorológicos

Se recolectó la data pluviométrica de las estaciones de la cuenca chancay, datos de la precipitación máxima anuales. Obteniendo datos desde el año 1964 hasta el año 2022. Dichos datos han sido procesados y tratados para obtener la precipitación máxima anuales.

Tabla 15

Estaciones pluviométricas

N°	ESTACIÓN PLUVIOMETRICA	CUENCA	ALTITUD (m.s.n.m)	LATITUD	LONGITUD
1	QUILCATE	CHANCAY	3100	6°49' S	78°44' W
2	CHUGUR	CHANCAY	2744	6°40' S	78°40' W
3	HUAMBOS	CHANCAY	2200	6°27' S	78°58' W
4	LLAMA	CHANCAY	2090	6°30' S	79°07' W
5	SANTA CRUZ	CHANCAY	2000	6°37' S	78°57' W
6	COCHABAMBA	CHANCAY	1800	6°28' S	78°53' W
7	CHANCAY BAÑOS	CHANCAY	1600	6°34' S	79°52' W
8	TOCMOCHE	LA LECHE	1250	6°25' S	79°22' W
9	PUCHACA	CHANCAY	500	6°21' S	79°28' W
10	TINAJONES	CHANCAY	240	6°40' S	79°29' W
11	PUCALA	CHANCAY	85	6°45' S	79°36' W
12	FERREÑAFE	CHANCAY	67	6°38' S	79°47' W
13	CHICLAYO	CHANCAY	27	6°46' S	79°50' W
14	REQUE	CHANCAY	21	6°53' S	79°51' W
15	LAMBAYEQUE	CHANCAY	18	6°42' S	79°55' W

Análisis de datos hidrológicos

Se realizó el análisis de datos dudosos, donde se determinó los datos dudosos altos, cuya precipitación considerada tienen que estar dentro del umbral las que esta fuera del rango del umbral de precipitaciones máximas y mínimas aceptadas, quedando como datos fidedignos se ha realizado un análisis para $tr=500$ años.

Métodos estadísticos para el análisis de datos hidrológicos

Para realizar el análisis estadístico de las precipitaciones en todas las estaciones, se realizó la distribución de probabilidad a través de los diferentes métodos estadísticos existentes, los métodos desarrollados son Distribución Normal, Distribución Log-Normal de 2 o 3 parámetros, distribución Gamma de 2 o 3 parámetros, Distribución Log-Pearson tipo III y distribución Gumbel y distribución Log-Gumbel.

El análisis y desarrollo en la estación reque de cada uno de las distribuciones mencionadas se realizaron a través del software HIDROESTA 2, un software que permite la interacción y análisis de la distribución de probabilidad.

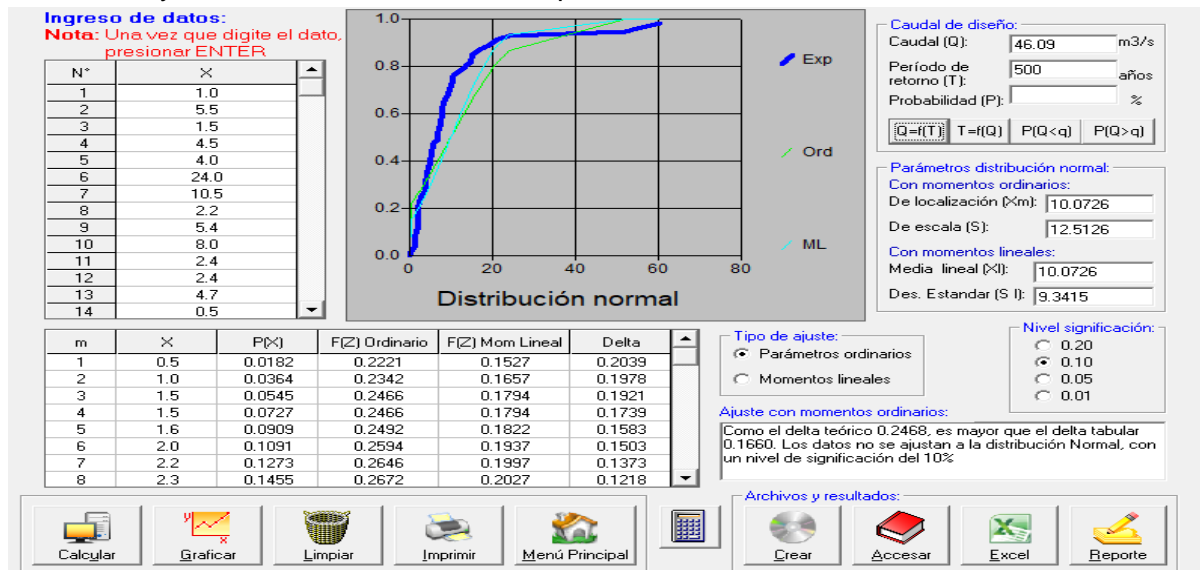


Figura 21 Ajuste de los datos de precipitación a la distribución Normal-HIDROESTA2

Nota. en la figura 21 se observa que los datos no se ajustan a la distribución normal, en ese sentido, no se puede considerar el caudal de 46.09 en el modelamiento.

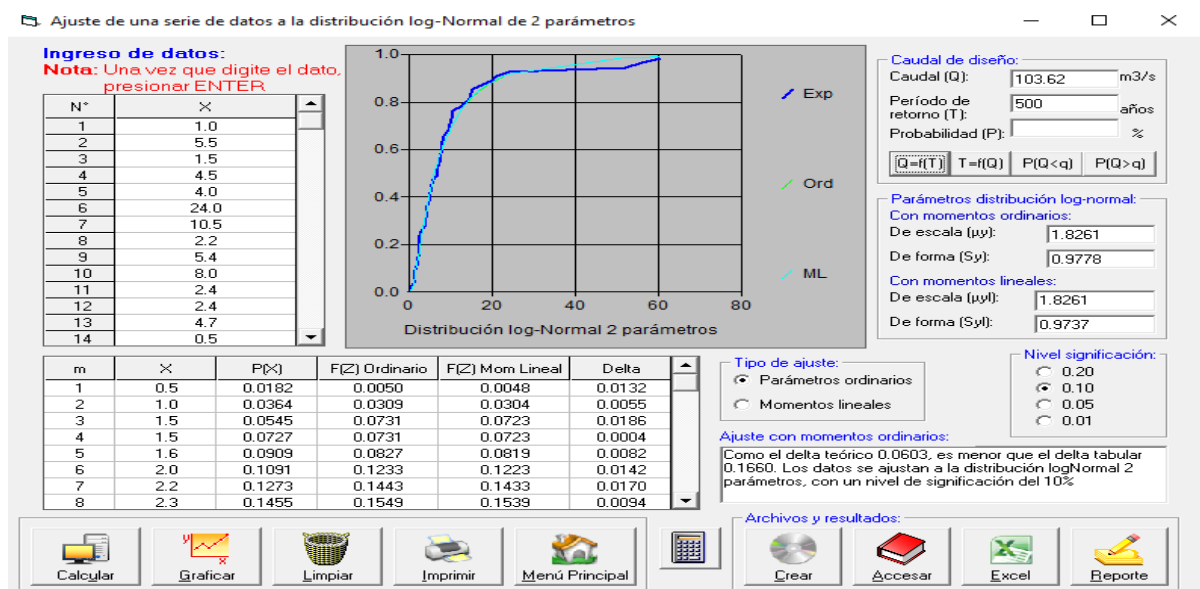


Figura 22 Ajuste de los datos de precipitaciones a la distribución Log-Normal de 2 parámetros-HIDROESTA2

Nota. En la figura 22 se observa que los datos de precipitaciones se ajustan a la distribución Log-Normal de 2 parámetros, esta distribución genera un caudal de 103.62 m³/s para un tiempo de retorno de 500 años.

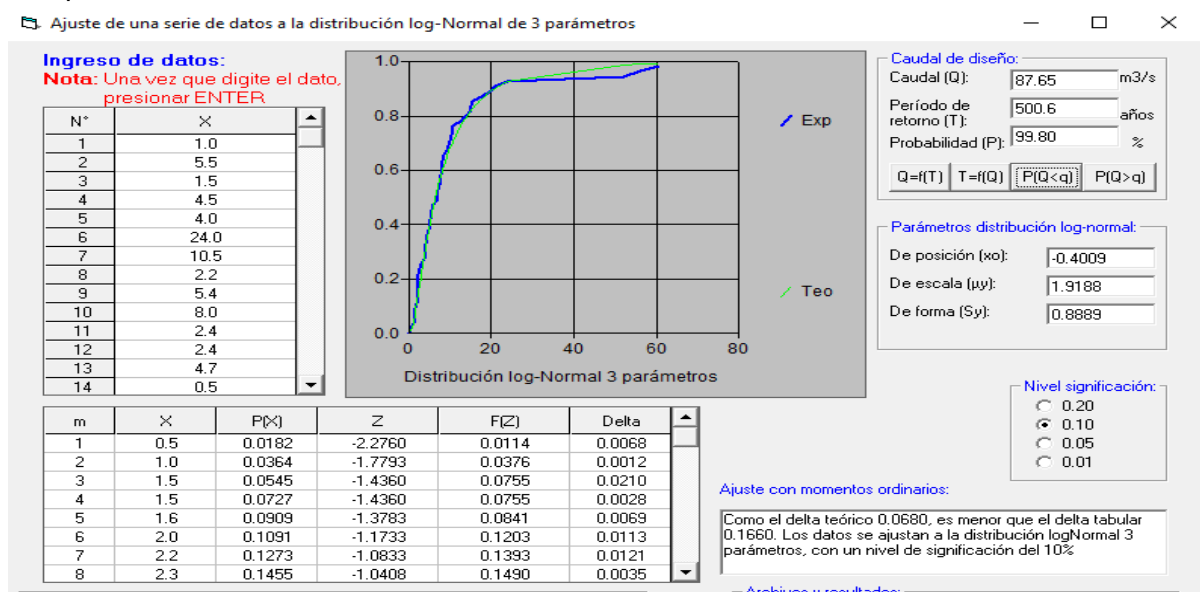


Figura 23 Ajuste de los datos de precipitaciones a la distribución Log-Normal de 3 parámetros-HIDROESTA2

Nota. En la figura 23 se observa que los datos de precipitaciones se ajustan a la distribución Log-Normal de 3 parámetros, esta distribución genera un caudal de 87.65 m³/s para un tiempo de retorno de 500 años.

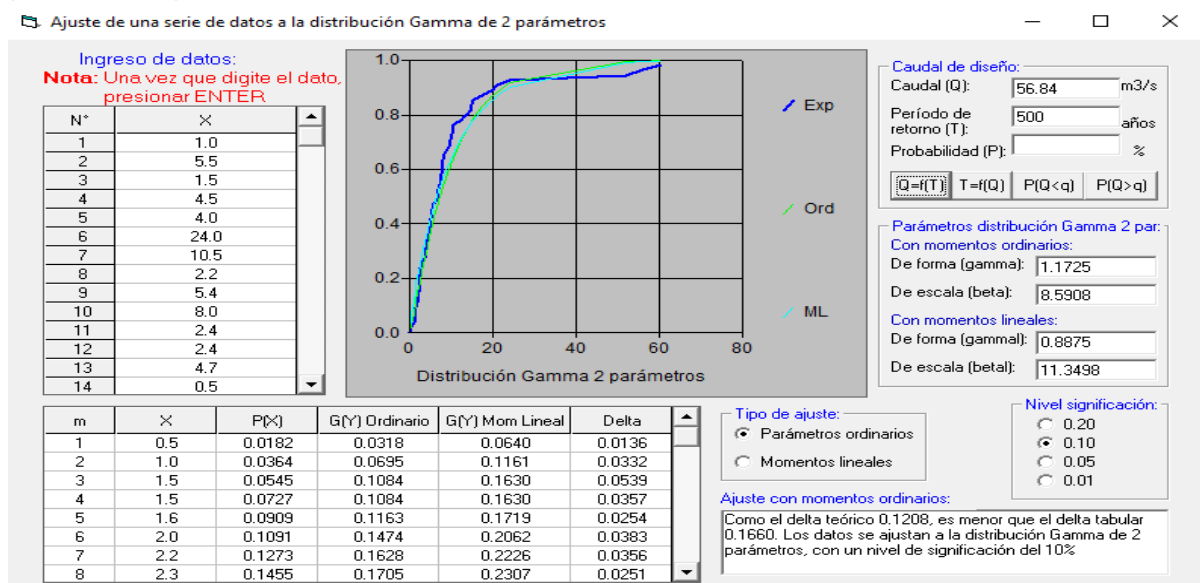


Figura 24 Ajuste de los datos a la distribución Gamma de 2 parámetros-HIDROESTA2

Nota. En la figura 24 se observa que los datos de precipitación se ajustan a la distribución Gamma de 2 parámetros, esta distribución genera un caudal de 56.84 m³/s, para un tiempo de retorno de 500 años.

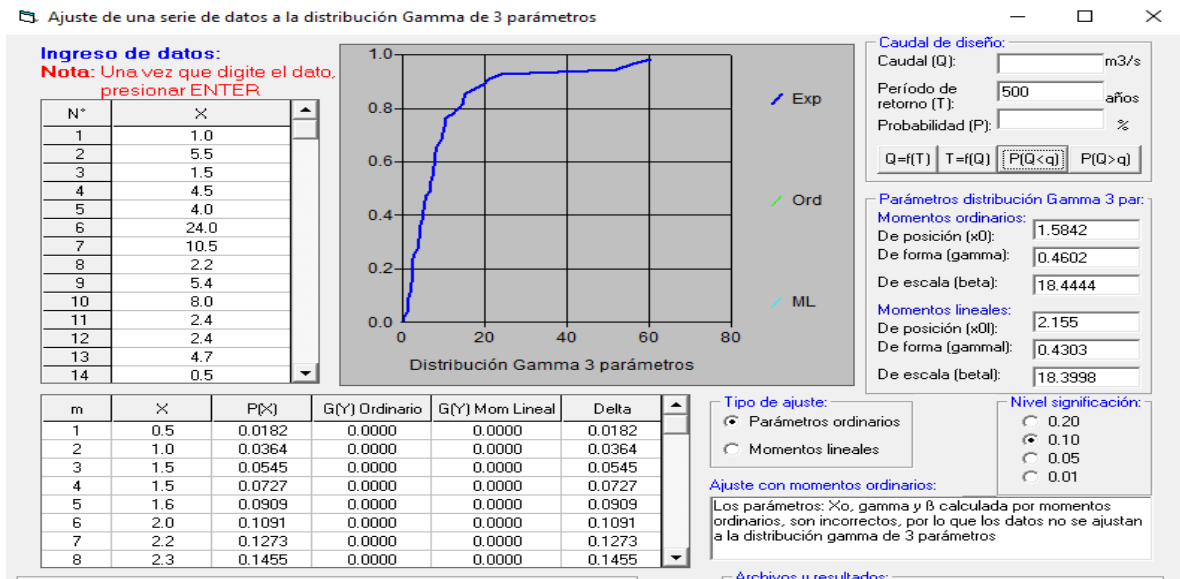


Figura 25 Ajuste de los datos de precipitaciones a la distribución Gamma de 3 parámetros-HIDROESTA2

Nota. En la figura 25 se observa que los datos de precipitaciones no se ajustan a la distribución Gamma de 3 parámetros.

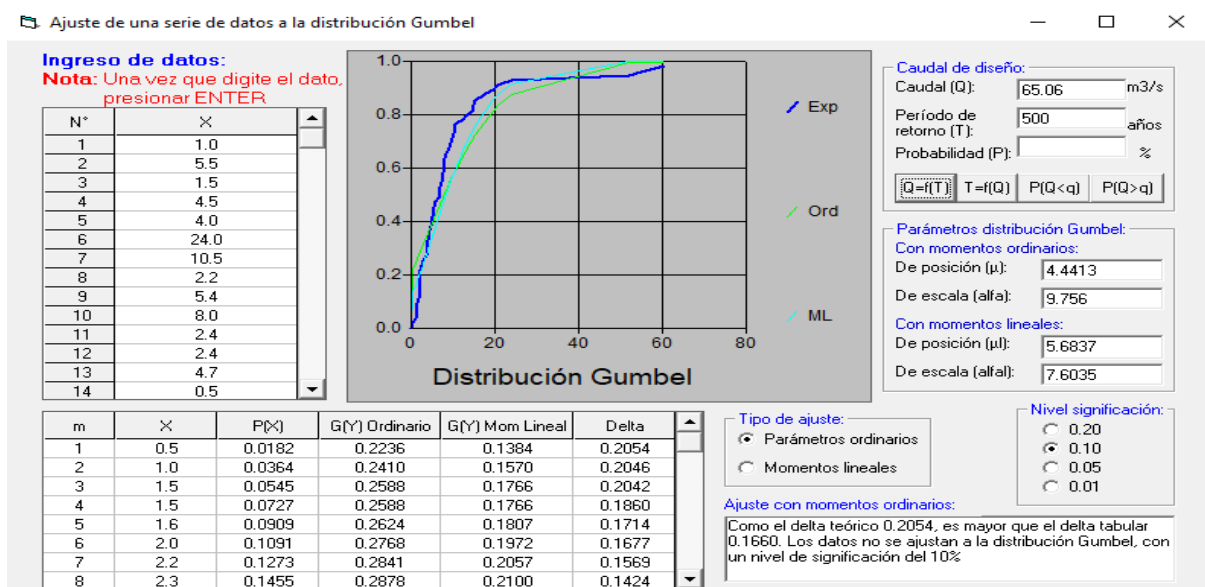


Figura 26 Ajuste de los datos de precipitación a la distribución Gumbel-HIDROESTA2

Nota. En la figura 26 se observa que los datos de precipitación no se ajustan a la distribución Gumbel, en ese sentido no se puede considerar el caudal de 65.06 m³/s, para el modelamiento.

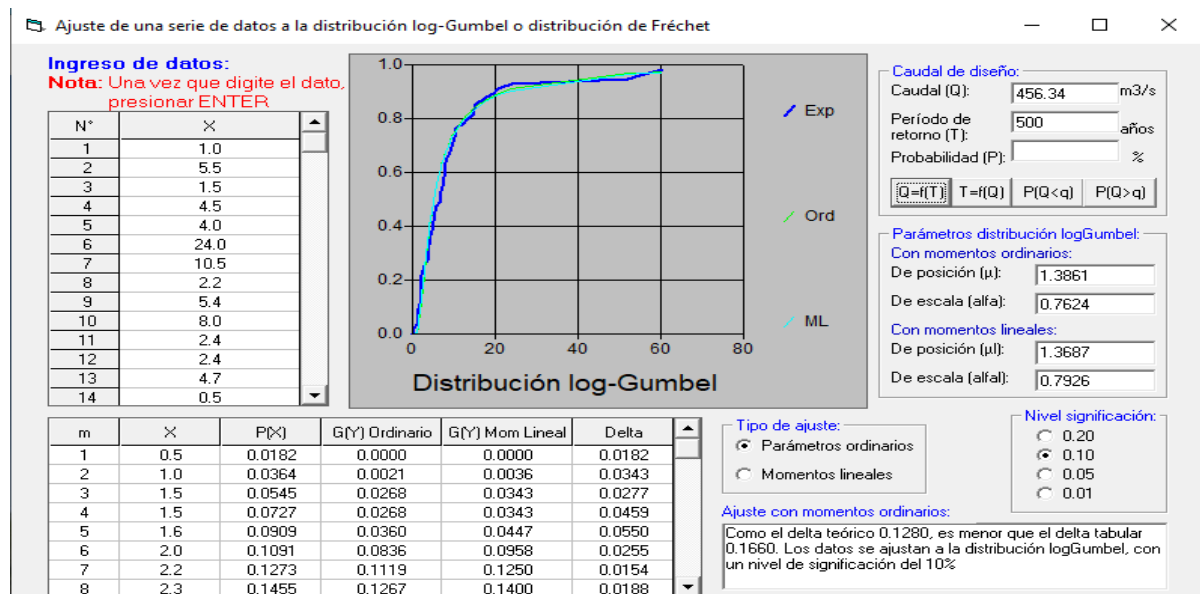


Figura 27 Ajuste de los datos de precipitación a la distribución de Log-Gumbel o de Fréchet-HIDROESTA2

Nota. En la figura 27 se observa que los datos de precipitación se ajustan a la distribución Log-Gumbel o de Fréchet, esta distribución genera un caudal de 456.34 m³/s, para un tiempo de retorno de 500 años.

Distribuciones estadísticas de las precipitaciones

Tabla 166

Valores de caudal de acuerdo a las distribuciones

N°	ESTACIÓN PLUVIOMETRICA	DISTRIBUCION DE MAYOR AJUSTE	TR=500 AÑOS
1	QUILCATE	Log Pearson Tipo III	62.14
2	CHUGUR	Log Pearson Tipo III	83.67
3	HUAMBOS	Log Pearson Tipo III	94.7
4	LLAMA	Log Pearson Tipo III	132.68
5	SANTA CRUZ	Log Pearson Tipo III	105.5
6	COCHABAMBA	Log Pearson Tipo III	111.38
7	CHANCA Y BAÑOS	Log Pearson Tipo III	97.84
8	TOCMOCHE	Log Pearson Tipo III	159.54
9	PUCHACA	Log Pearson Tipo III	306.85
10	TINAJONES	Gumbel Tipo I	374.13
11	PUCALA	Gumbel Tipo I	189.24
12	FERREÑAFE	Log Pearson Tipo III	280.02
13	CHICLAYO	Log Pearson Tipo III	362.08
14	REQUE	Log Pearson Tipo III	87.65
15	LAMBAYEQUE	Log Pearson Tipo III	137.3

Durante períodos de eventos máximos, como 1998 (Fenómeno de El Niño), el caudal del río Chancay aumentó significativamente y su nivel llegó a los 1996 m³/s en el Puente Reque durante esta simulación. Se creó un modelo de Precipitación y Escorrentía para calcular los caudales de las 15 estaciones que se tomaron como subcuencas. El programa Hydrologic ModelingSystem HMS v411. ha estado utilizando estas características para construir el modelo, que luego utiliza la precipitación máxima para calcular los caudales.

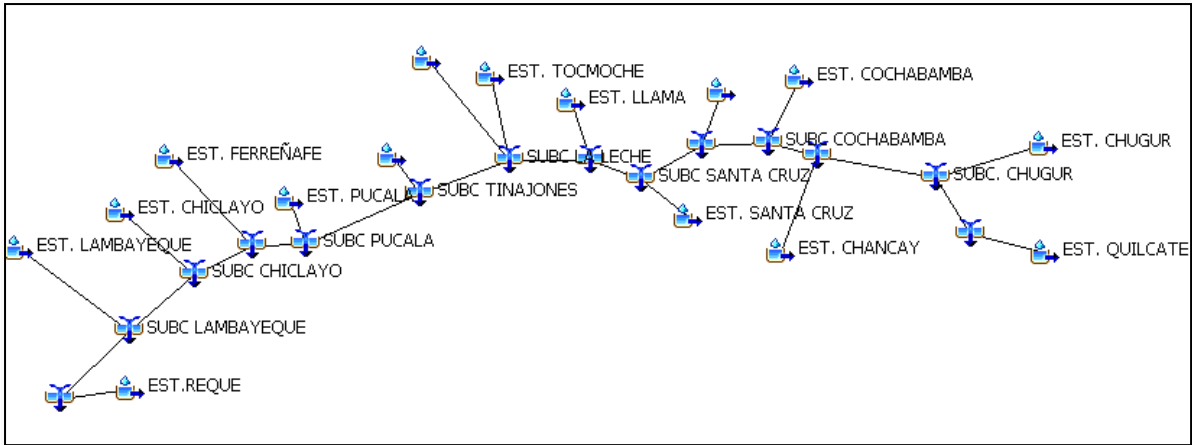


Figura 28 Esquema hidrográfico

Desarrollo de la simulación hidrográfica mediante el programa HEC HMS v Durante un período de 500 años, la subcuenca Reque experimentó un flujo lateral de 3109,6 m³/s. La estación bocatoma Monsefú-Reque alcanzó un caudal de 3497.0 m³/s según la gerencia de desarrollo de tinajones [46], mientras que la investigación de Espinoza arrojó 3115,48. m²/s para un periodo de retorno de 500 años [47].

Según el objetivo 3

Aplicación del modelo matemático TEDRI 1D7C mediante el software Hec Ras V6.1

El modelo matemático TEDRI 1D7C, Está disponible un modelo unidimensional que se concentra la circulación del agua y los sedimentos a lo largo del eje de un río, junto con el software Hec Ras que puede incorporar modelos de sedimentación y transporte de sedimentos que son componentes principales del modelo TEDRI 1D7C, garantizando la correcta aplicación del modelo matemático TEDRI 1D7C.

Creación del proyecto Hec Ras V6.1

Sistema de unidades del proyecto

El software Hec Ras, viene programado por defecto con un sistema de unidades inglés, para la presente investigación, se usaron unidades del Sistema Internacional, en la figura 29 se muestra el sistema de unidades con el que se trabajó nuestro modelamiento.

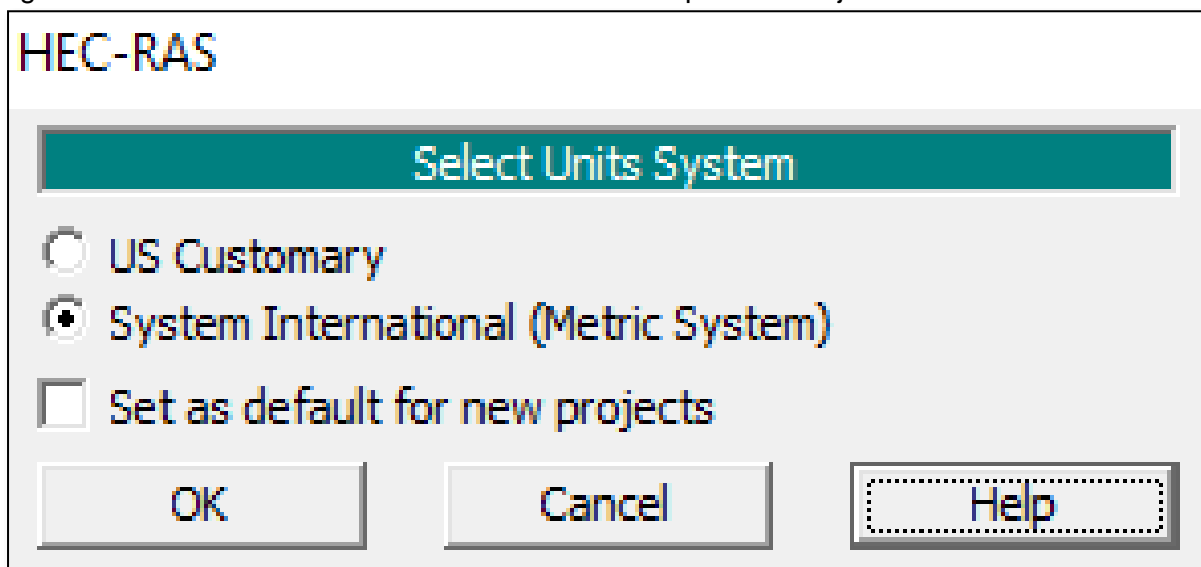


Figura 29 Opciones de sistemas métricos de interacción

Nota. En la figura 29 se observa el Sistema Internacional es el sistema métrico con el que se ha realizado la ejecución del modelo matemático TEDRI 1D7C a través del software HEC RAS.

Creación del proyecto en el software HEC RAS

Se creó el nuevo proyecto en el software Hec Ras denominado “Modelamiento TEDRI 1D7C” con el sistema métrico internacional ya definido.

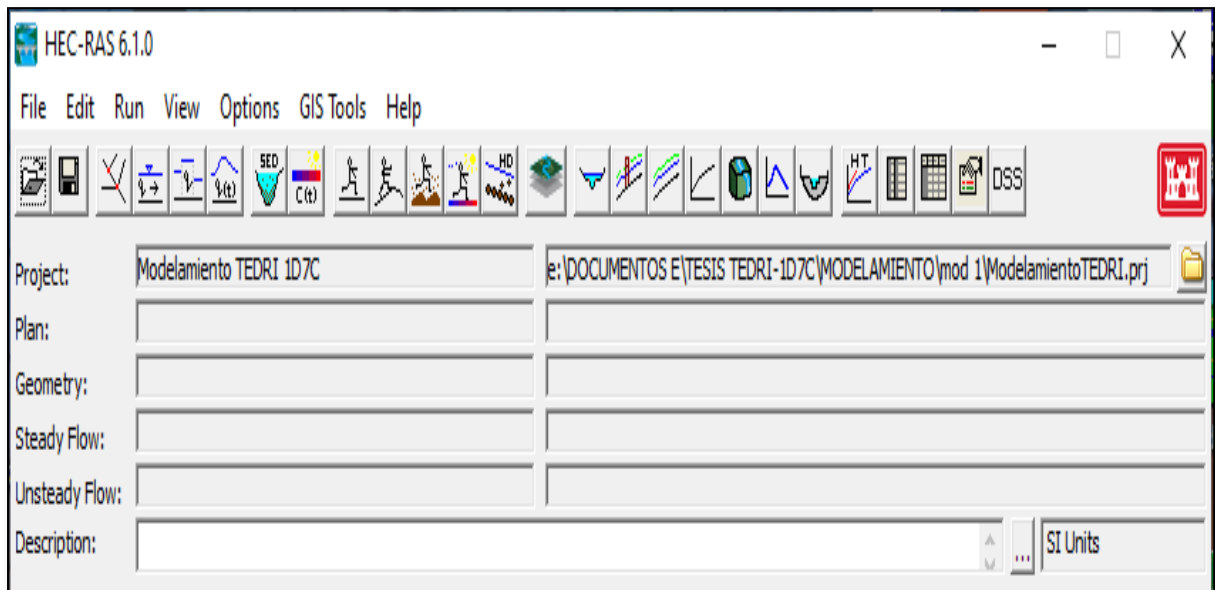


Figura 30 Creación del proyecto denominado “Modelamiento TEDRI 1D7C” en el software Hec Ras

Nota. En la figura 30 se observa la entrada principal del software Hec Ras.

Generación de la geometría del proyecto en el sub programa Ras Mapper, extensión de HEC RAS

Georreferenciación del proyecto

Para la georreferenciación del proyecto, se realizó la descarga de un documento de extensión PRJ de la página Referencial spatial, es un archivo que contiene los caracteres de la zona de trabajo, para nuestra investigación que se encuentra en la zona 17 sur, este archivo es necesario para georreferenciar el modelo digital de elevación.

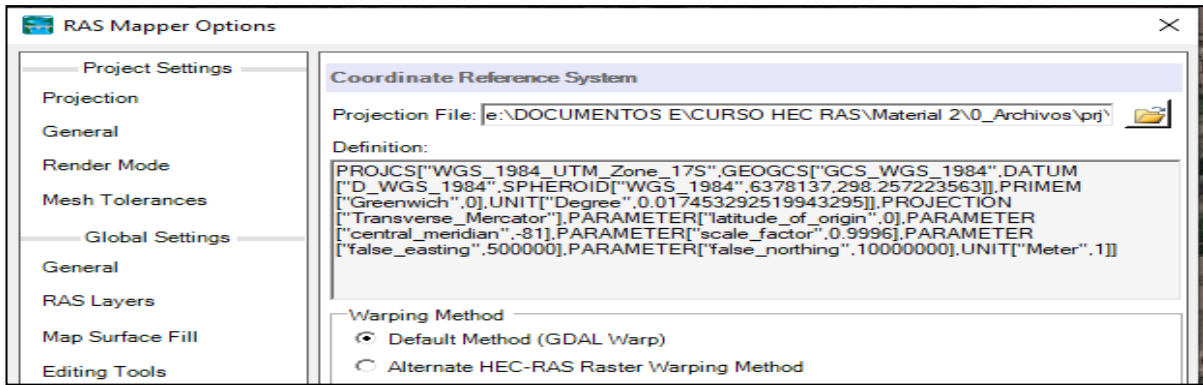


Figura 31 Georreferenciación del Ras Mapper-Hec Ras.

Nota. se observa la extensión PRJ, dentro del menú de Project del Ras Mapper.

Exportación del modelo digital de elevación del software AutoCAD CIVIL 3D AL RAS MAPPER-HEC RAS

Dentro del estudio topográfico realizado, se obtuvieron 1510 puntos con los cuales se generó las curvas de nivel y posteriormente el modelo digital de elevación en el software AutoCAD Civil 3D, indispensable para la aplicación del modelo matemático TEDRI 1D7C.

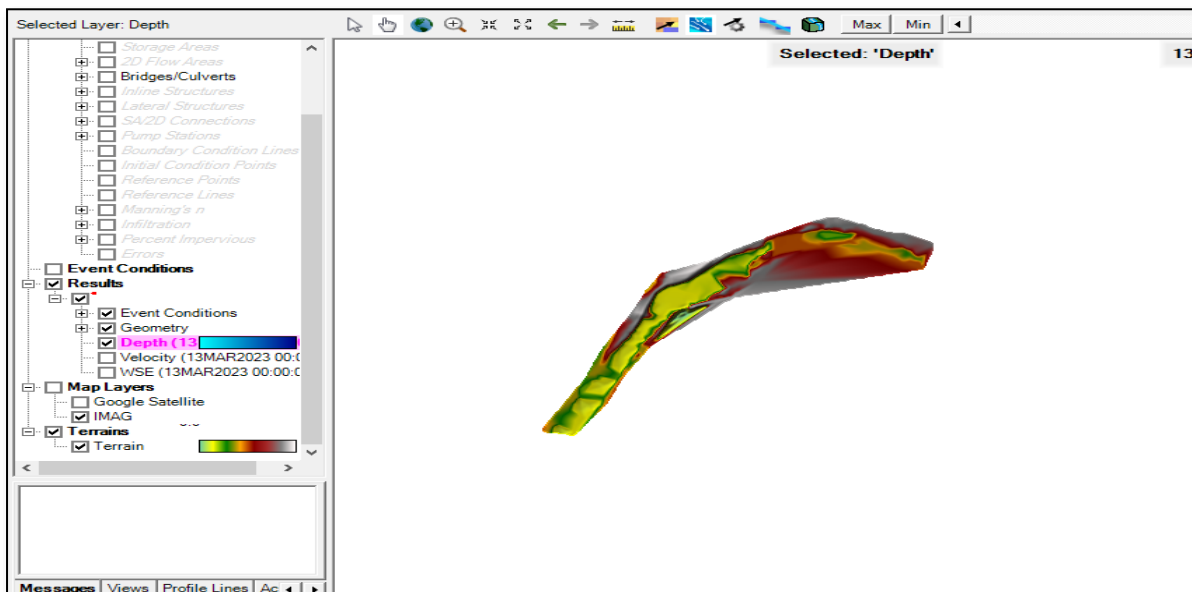


Figura 32 Modelo digital de elevación

Nota. Modelo digital de elevación en el sub programa Ras Mapper.

Generación de condiciones geométricas del proyecto

Trazado del eje del río reque

Para el trazado del eje del río, se utilizó una imagen satelital descargada de la herramienta Map Layers del sub programa Ras Mapper. Esta imagen nos permitió generar el eje del río sobre el modelo digital de elevación.



Figura 33 Imagen satelital obtenida de la herramienta Map Layers-Ras Mapper-Hec Ras

Nota. La figura 33 muestra el cauce del río Reque y el puente Reque.

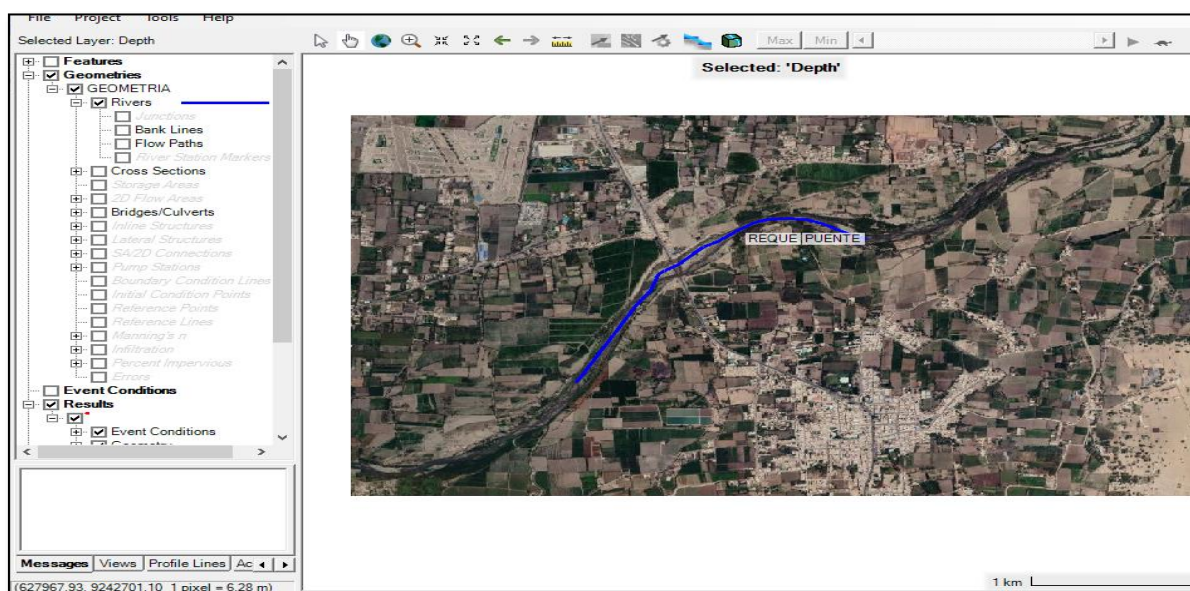


Figura 34 Trazo del eje del río Reque

Nota. Se observa en la figura 34 el trazado del eje del rio Reque con una línea azul

Inserción de Bank Lines

Los bank lines son las líneas que representan los bordes del río, que separan la superficie del agua del terreno externo al modelamiento.

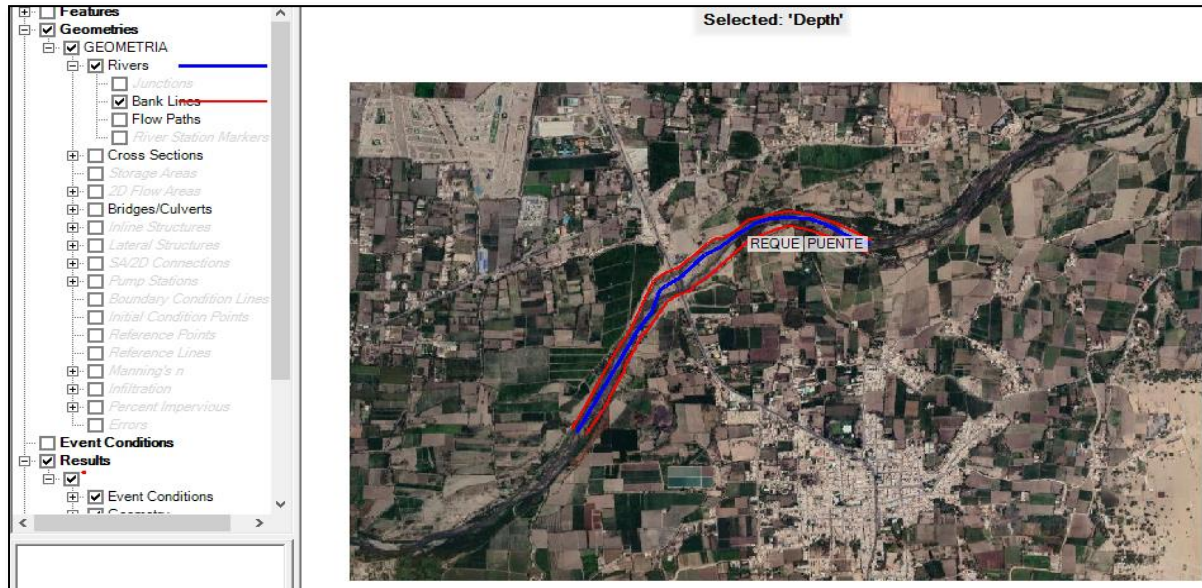


Figura 35 Trazo de los bank lines-Ras Mapper-HeC Ras

Nota. se observa de color rojo los bank lines, necesarios para el modelamiento unidimensional (1D) del modelo matemático TEDRI 1D7C.

Generación de las secciones transversales

Para la aplicación del modelo matemático TEDRI 1D7C, es importante conocer de qué manera interactúa las ecuaciones de Saint-Venant, que son ecuaciones que utiliza el software HeC Ras para realizar el modelamiento unidimensional. Para la presente investigación se generaron 23 secciones transversales que permitirán el modelado y la interacción con el puente Reque.

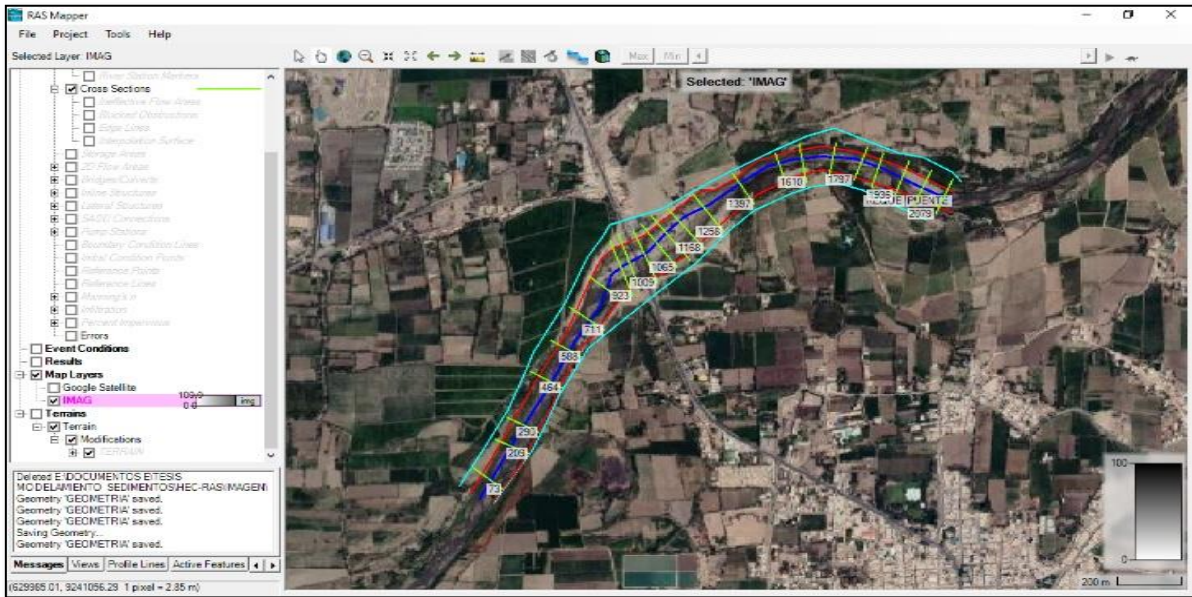


Figura 36 Secciones transversales a lo largo del eje del río Reque

Nota. En la figura se observa las 23 secciones transversales (líneas verdes), cuya denominación va de mayor a menor.

Ingreso de los coeficientes Manning

Para los coeficientes de Manning, se determinó un coeficiente de 0.038 para los bank lines, que es un valor representativo de la vegetación presente y para el lecho del río, un valor de 0.035.

Edit Manning's n or k Values

River: REQUE | Reach: PUENTE | All Regions | Channel n Values have a light green background

Selected Area Edit Options: Add Constant ..., Multiply Factor ..., Set Values ..., Replace ..., Reduce to L Ch R ...

River Station	Frctn (n/k)	n #1	n #2	n #3
1 2079	n			
2 2008	n	0.038	0.035	0.038
3 1936	n	0.038	0.035	0.038
4 1853	n	0.038	0.035	0.038
5 1797	n	0.038	0.035	0.038
6 1707	n	0.038	0.035	0.038
7 1610	n	0.038	0.035	0.038
8 1537	n	0.038	0.035	0.038
9 1397	n	0.038	0.035	0.038
10 1258	n	0.038	0.035	0.038
11 1168	n	0.028	0.035	0.028
12 1110	n	0.028	0.035	0.028
13 1065	n	0.028	0.035	0.028
14 1009	n	0.028	0.035	0.028
15 982	Bridge			
16 955	n	0.035	0.028	
17 923	n	0.028	0.035	0.028
18 832	n	0.038	0.035	0.038
19 711	n	0.038	0.035	0.038
20 588	n	0.038	0.035	0.038
21 464	n	0.038	0.035	0.038
22 290	n	0.038	0.035	0.038
23 209	n	0.038	0.035	0.038
24 73	n	0.038	0.035	0.038

Figura 37 Valores de Manning de acuerdo a las secciones generadas.

Nota. En la figura 36 se observa valores de Manning de 0.038 a ambos extremos (bank lines) y 0.035 en el lecho del río. Hay una variación en los coeficientes de Manning de las secciones 1168 a 923, en este tramo existen defensas ribereñas, es por ello que el valor de Manning varía en los extremos.

Diseño geométrico del puente reque en la extensión GEOMETRY DATA- BRIDGE CULVERT DATA-HEC RAS

Ubicación del puente Reque entre 2 secciones generadas

Para generar la geometría del puente Reque, se tuvo que generar 2 secciones entre las cuales se ubicaría el puente. Estas secciones son 955 y 1009.

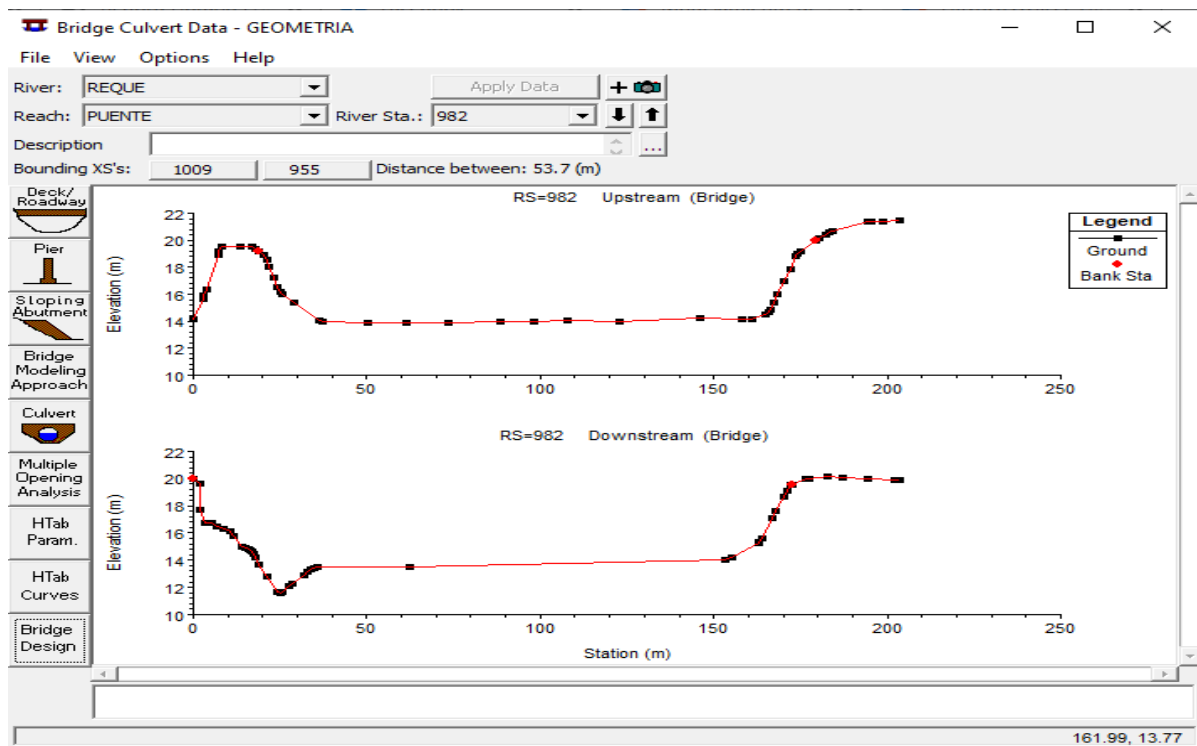


Figura 38 Secciones 955 y 1009

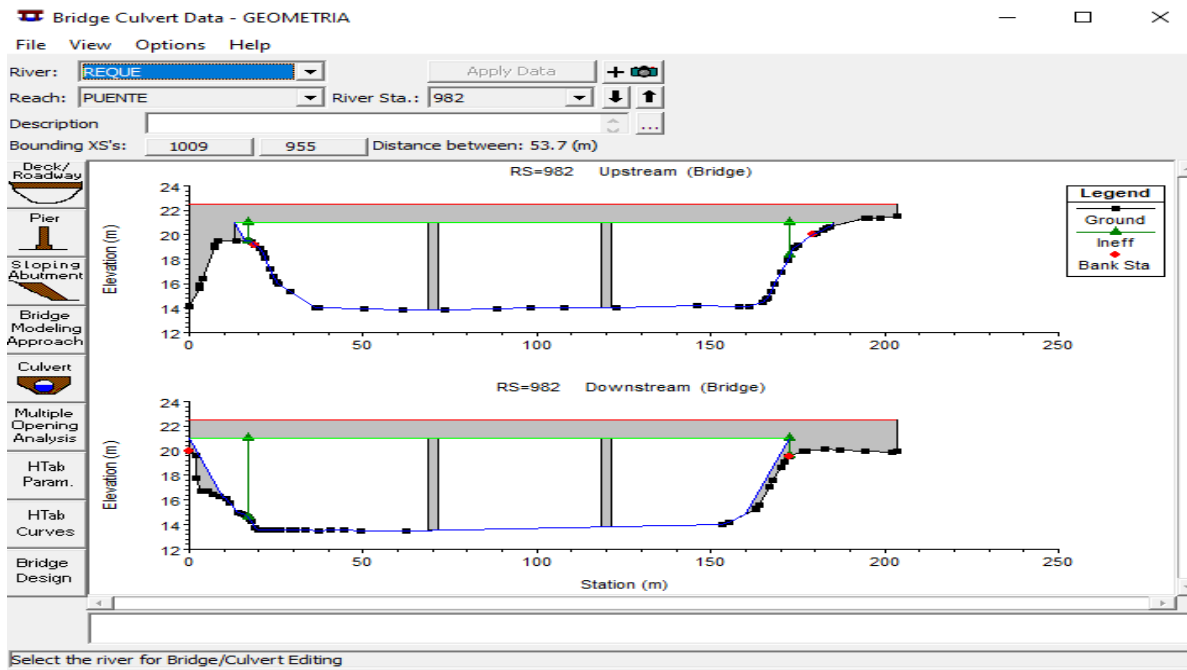


Figura 39 Puente Reque-Hec Ras

Nota. En la figura 39 se visualiza la estructura geometría del puente Reque.

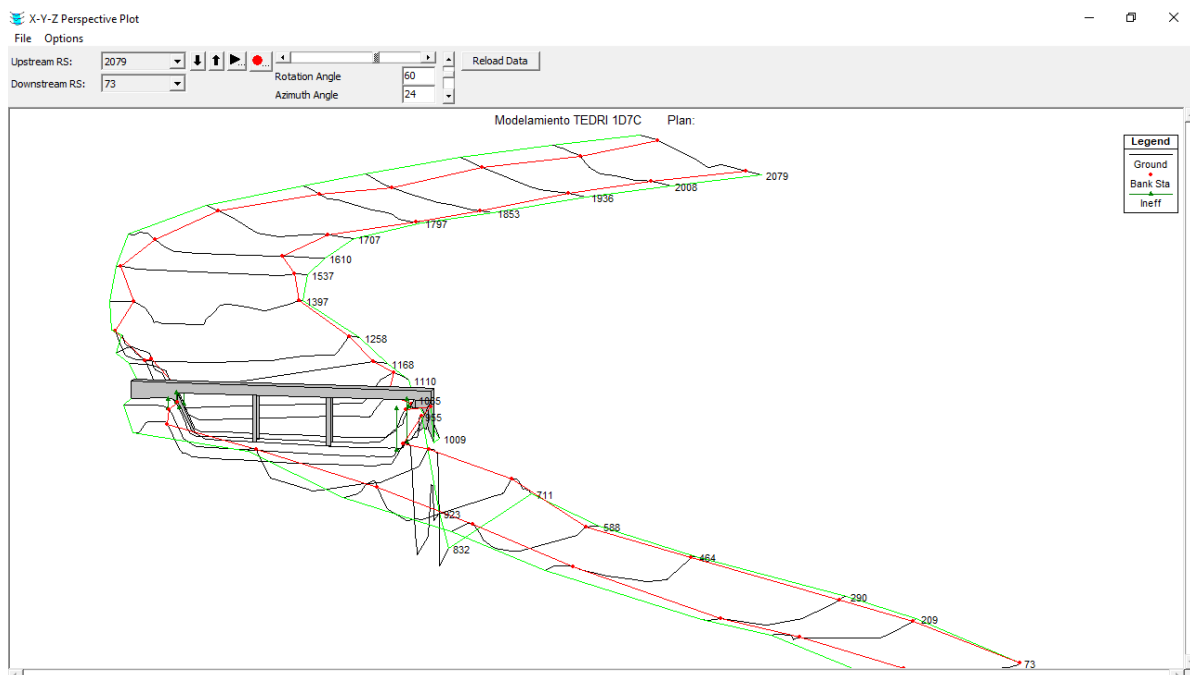


Figura 40 Puente Reque con respecto a las secciones transversales

Nota. En la figura se visualiza la ubicación del puente Reque con respecto a las secciones transversales.

Ingreso de las condiciones de caudal mediante la extensión QUASI-UNSTEADY DATA para el modelamiento unidimensional

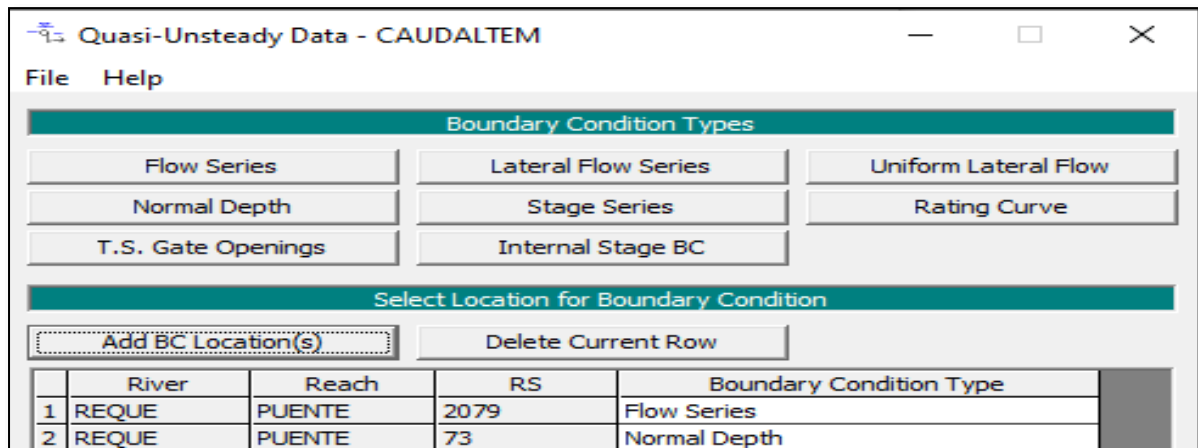


Figura 41 Ventana principal de la extensión QUASI-UNSTEADY DATA

Nota. En la figura 40, identificamos el conjunto de opciones con las que cuenta el software Hec Ras, entre las principales que corresponden al modelo matemático TEDRI 1D7C, contamos con Flow Series, que permite ingresar el caudal de diseño, Normal Depth, que indica la pendiente del río aguas abajo y Set Temperature, que permite el ingreso de la temperatura del agua.

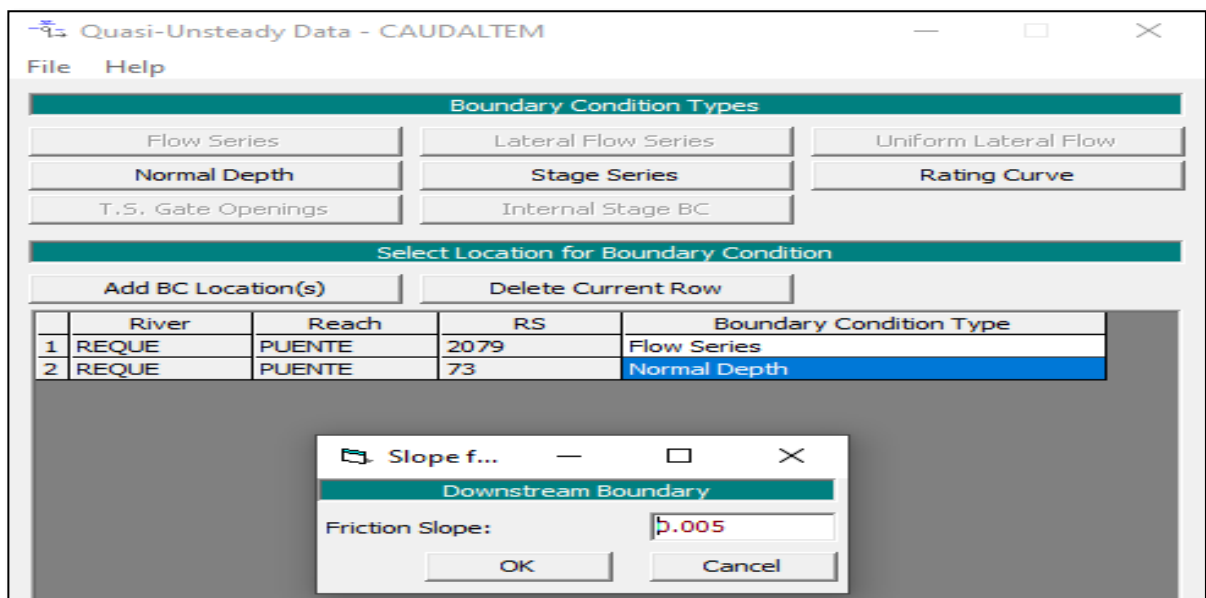


Figura 42 Ingreso de la pendiente del río como condición de contorno

Flow Series for REQUE PUENTE 2079

Read from DSS before simulation Select DSS file and

File:

Path:

Enter Table

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

Use Simulation Time: Date: 11MAR2023 Time:

Fixed Start Time: Date: 11Mar2023 Time:

Hydrograph Data					
No. Ordinates	Interpolate Values	Del Row	Ins Row		
	Simulation Time	Elapsed Time (hours)	Flow Duration (hours)	Computation Increment (hours)	Flow (m3/s)
1	11Mar2023 0000	1	1	0.2	
2	11Mar2023 0100	2	1	0.2	
3	11Mar2023 0200	3	1	0.2	
4	11Mar2023 0300	4	1	0.2	
5	11Mar2023 0400	5	1	0.2	
6	11Mar2023 0500	6	1	0.2	
7	11Mar2023 0600	7	1	0.2	
8	11Mar2023 0700	8	1	0.2	
9	11Mar2023 0800	9	1	0.2	
10	11Mar2023 0900	10	1	0.2	
11	11Mar2023 1000	11	1	0.2	
12	11Mar2023 1100	12	1	0.2	
13	11Mar2023 1200	13	1	0.2	
14	11Mar2023 1300	14	1	0.2	
15	11Mar2023 1400	15	1	0.2	
16	11Mar2023 1500	16	1	0.2	
17	11Mar2023 1600	17	1	0.2	
18	11Mar2023 1700	18	1	0.2	
19	11Mar2023 1800	19	1	0.2	
20	11Mar2023 1900	20	1	0.2	

Figura 43 Ingreso del caudal de diseño obtenido del programa hec-hms.

Nota. En la figura 43 visualizamos el ingreso del caudal de diseño que es igual a 3109.1 m³/s, la duración del hidrograma correspondiente a 1 hora y el incremento computacional de 0.2 horas que se refiere al cálculo del caudal, tomando en cuenta que se realizará el cálculo con un tiempo de 0.2 horas para el caudal.

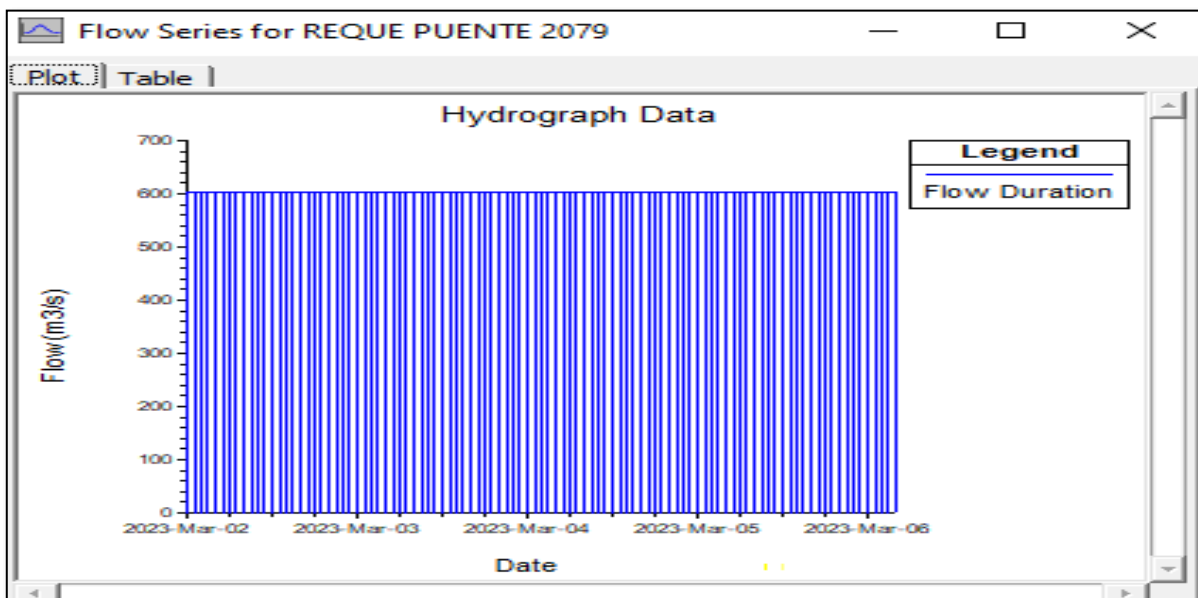


Figura 44 Caudal vs incremento computacional

Nota. Se observa el gráfico de la imagen 43, donde se observa un caudal permanente, vs el incremento computacional de 0.2 horas, en modelo matemático TEDRI 1D7C, considera al caudal como permanente para realizar el modelamiento unidimensional (1D).

Temperature Data				
No. Ordinates	Interpolate Missing Values	Del Row	Ins Re	
	Simulation Time	Elapsed Time (hours)	Duration (hours)	Temp (C)
3	11Mar2023 0200	3	1	17
4	11Mar2023 0300	4	1	17
5	11Mar2023 0400	5	1	17
6	11Mar2023 0500	6	1	17
7	11Mar2023 0600	7	1	17
8	11Mar2023 0700	8	1	17
9	11Mar2023 0800	9	1	17
10	11Mar2023 0900	10	1	17
11	11Mar2023 1000	11	1	17
12	11Mar2023 1100	12	1	17
13	11Mar2023 1200	13	1	17
14	11Mar2023 1300	14	1	17
15	11Mar2023 1400	15	1	17
16	11Mar2023 1500	16	1	17
17	11Mar2023 1600	17	1	17
18	11Mar2023 1700	18	1	17

Figura 45 Ingreso de la condición de temperatura del agua del río Reque

Nota. Se ingresó una temperatura media de 17 °C para el rio Reque.

Incorporación de las condiciones del ensayo granulométrico a través de la extensión Sediment Data-Hec Ras

La incorporación de las condiciones del ensayo granulométrico constituye uno de los datos más importantes al momento de la aplicación del modelo matemático TEDRI 1D7C, que corresponde al transporte de sedimentos.

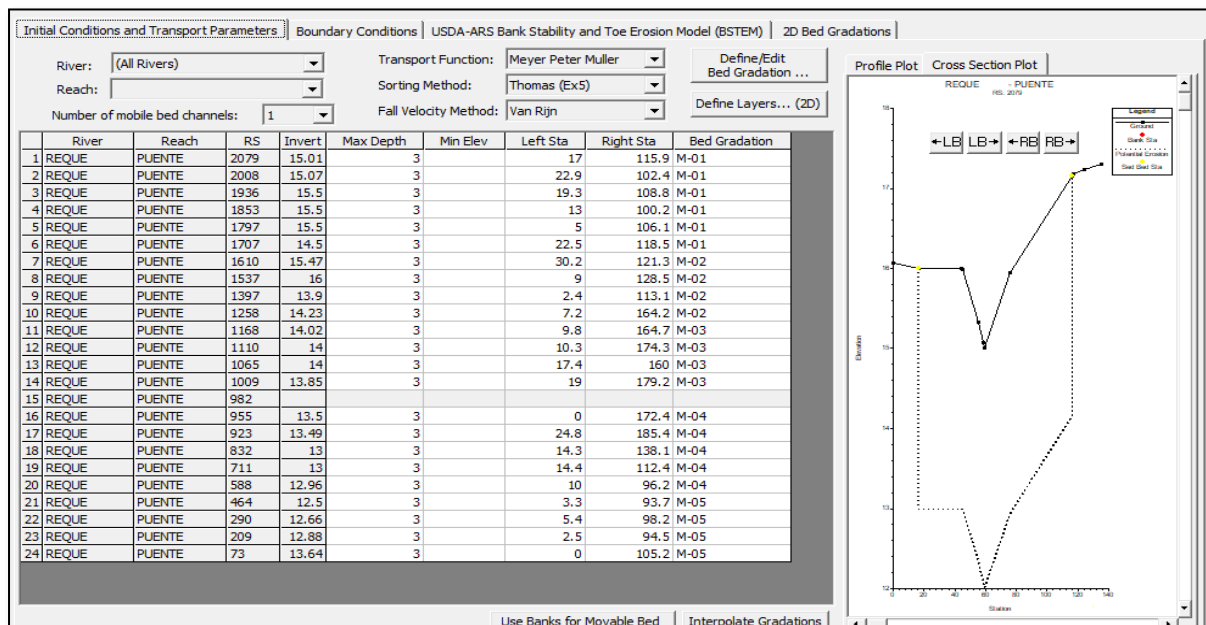


Figura 46 Ventana principal de la extensión Sediment Data

Nota. En el análisis unidimensional que comprende el modelo matemático TEDRI 1D7C, se realiza el desarrollo de las ecuaciones a través de las secciones transversales creadas. En la imagen 45 se puede observar todas las secciones en donde se le ha incorporado los resultados del ensayo granulométrico connotado por M1, M2, M3, M4, M5. Así como también el margen del inicio del transporte de sedimentos desde los Bank Lines.

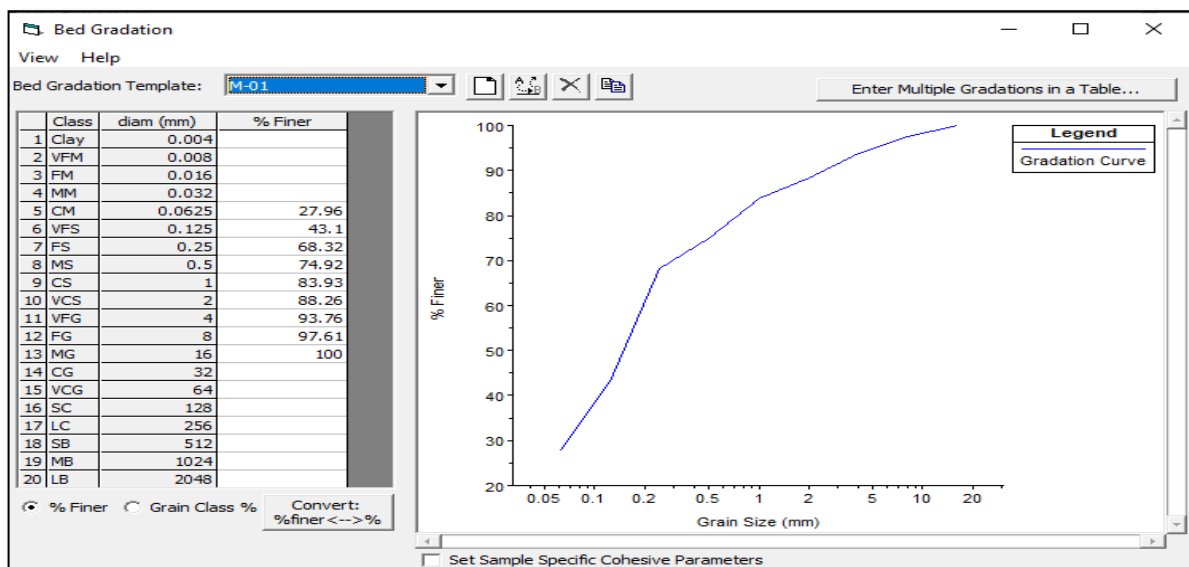


Figura 47 Porcentaje granulométrico de la muestra M-01

NOTA. El software Hec Ras permite el ingreso del porcentaje granulométrico de cada clase de partículas, se muestra los resultados obtenidos de la muestra M-01, ingresando los porcentajes con un diámetro mayor de 0.0625 mm y un diámetro menor de 16 mm

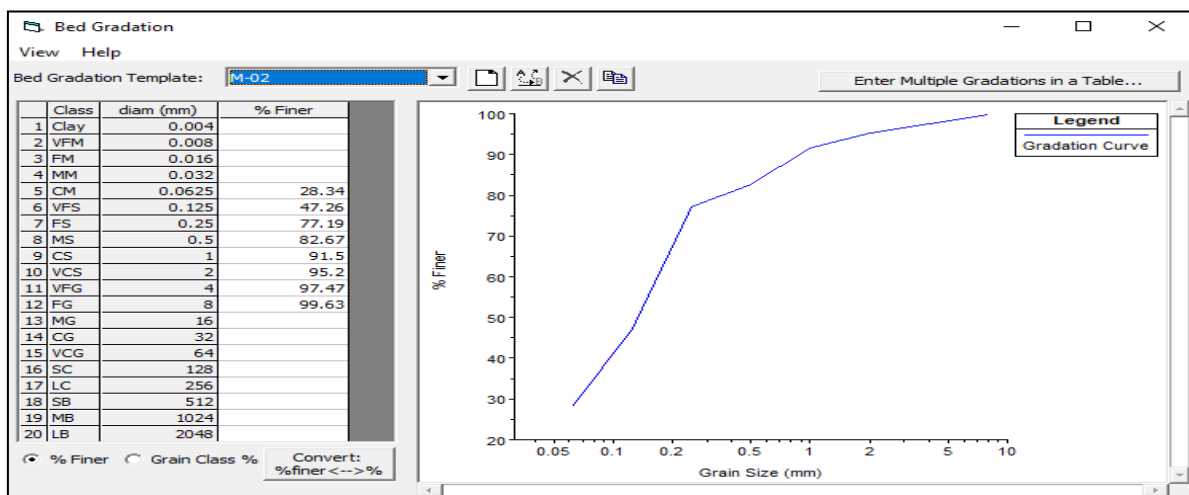


Figura 48 Porcentaje granulométrico de la muestra M-02

Nota. El software Hec Ras permite el ingreso del porcentaje granulométrico de cada clase de partículas, se muestra los resultados obtenidos de la muestra M-02, ingresando los por porcentajes con un diámetro mayor de 0.0625 mm y un diámetro menor de 16 mm.

Figura 49 Porcentaje granulométrico de la muestra M-03

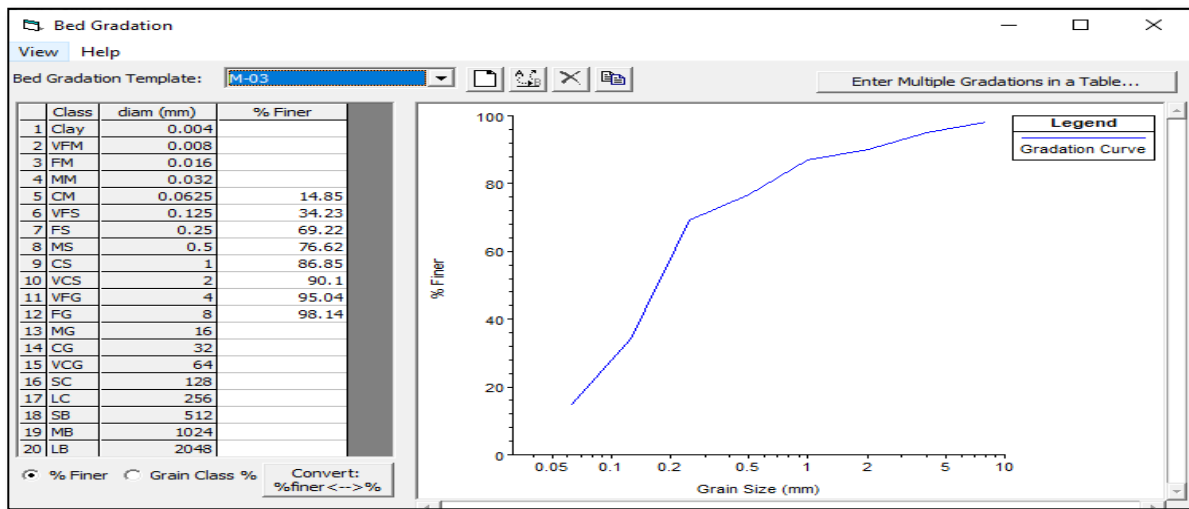
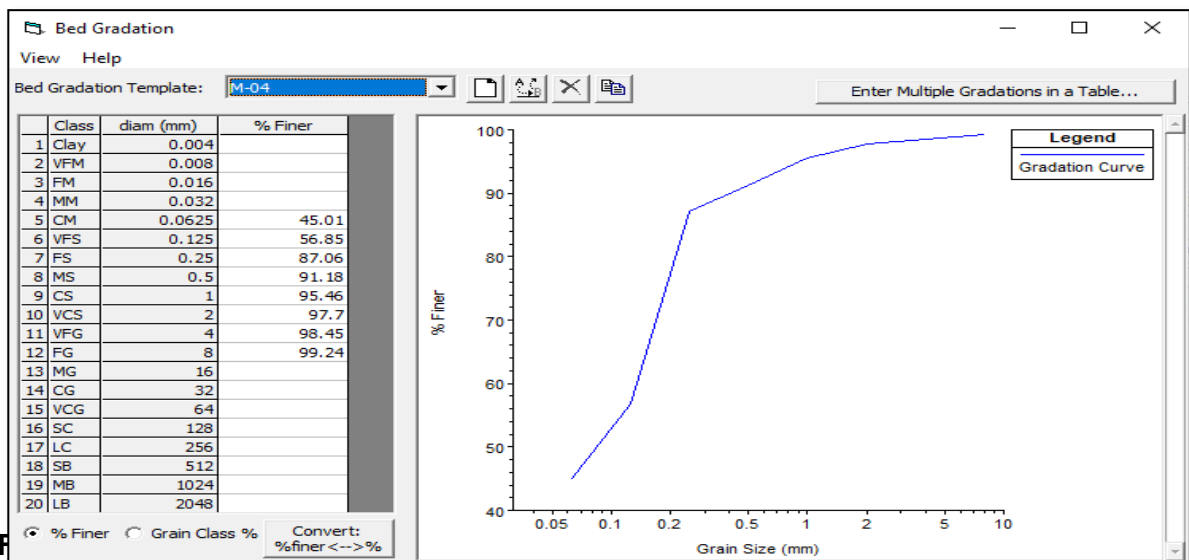


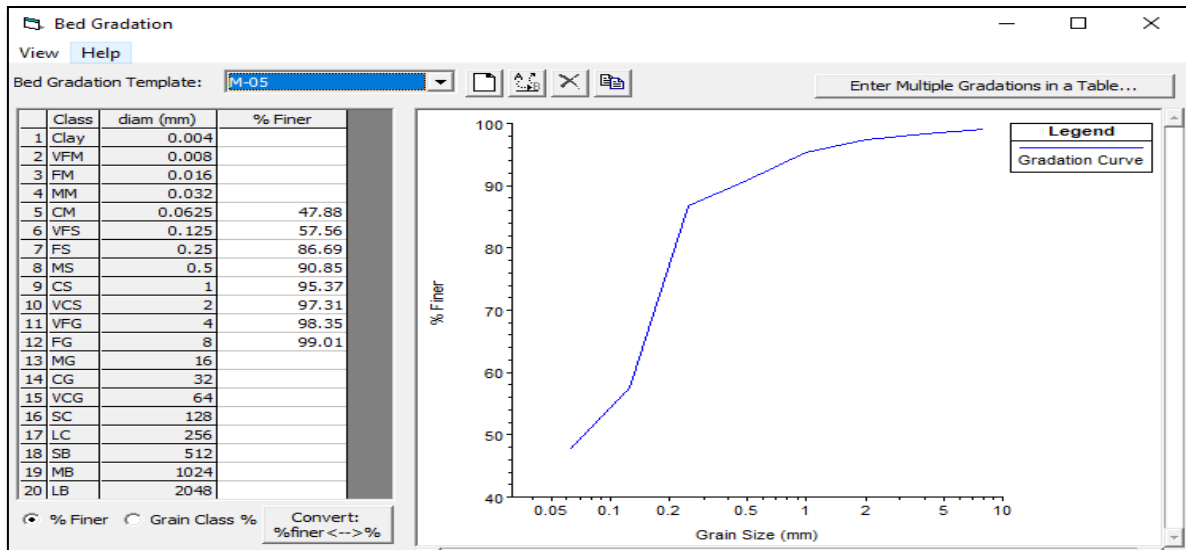
Figura 50 Porcentaje granulométrico de la muestra M-03

Nota. El software Hec Ras permite el ingreso del porcentaje granulométrico de cada clase de partículas, se muestra los resultados obtenidos de la muestra M-03, ingresando los porcentajes con un diámetro mayor a 0.0625 y un diámetro menor de 16 mm.



Nota. el software Hec Ras permite el ingreso del porcentaje granulométrico de cada clase de partículas, muestran los resultados obtenidos de la muestra M-04, ingresando los

porcentajes con un diámetro mayor de 0.0625 y un diámetro menor a 16 mm.



Nota. El software Hec Ras permite el ingreso del porcentaje granulométrico de cada clase de partículas, se muestra los resultados obtenidos de la muestra M-05, ingresando los porcentajes con un diámetro mayor a 0.0625 y un diámetro menor de 16 mm.

Ingreso y elección de ecuaciones de acuerdo al modelo TEDRI 1D7C, en la extensión HYDRAULIC DESIGN-BRIDGE SCOUR-HEC RAS

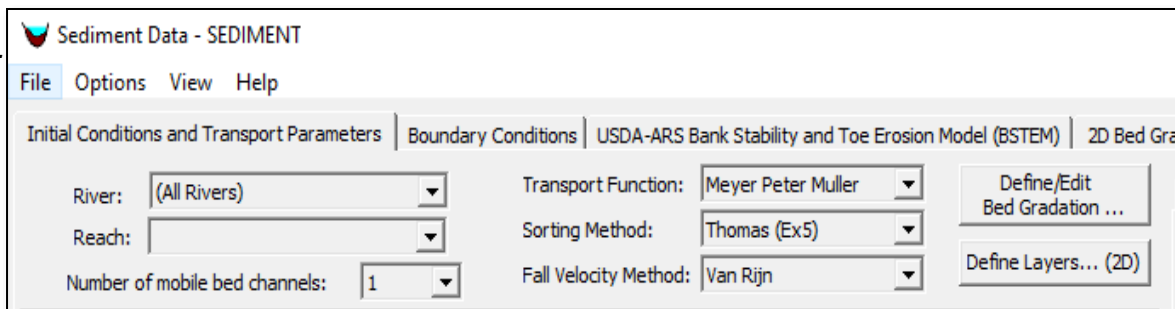


Figura 53 Elección de las ecuaciones para la aplicación del modelo matemático TEDRI 1D7C, para el transporte de sedimentos

Nota. En la figura se observa la elección de las ecuaciones de la aplicación del modelo matemático TEDRI 1D7C, se observa que para el Transport Function (función de transporte) se eligió la ecuación de Meyer Peter Muller, para sorting Method (método de clasificación) se eligió la ecuación de Thomas (Ex5) y par Fall Velocity Method (método de velocidad de caída) la ecuación de Van Rijn.

Según el objetivo 4

Ejecución de la aplicación del modelo matemático TEDRI 1D7C a través del software HEC RAS

Una vez ingresado y generado todas las condiciones que requiere el modelo matemático TEDRI 1D7C, se procedió a calcular los efectos que genera el modelamiento con un determinado caudal.

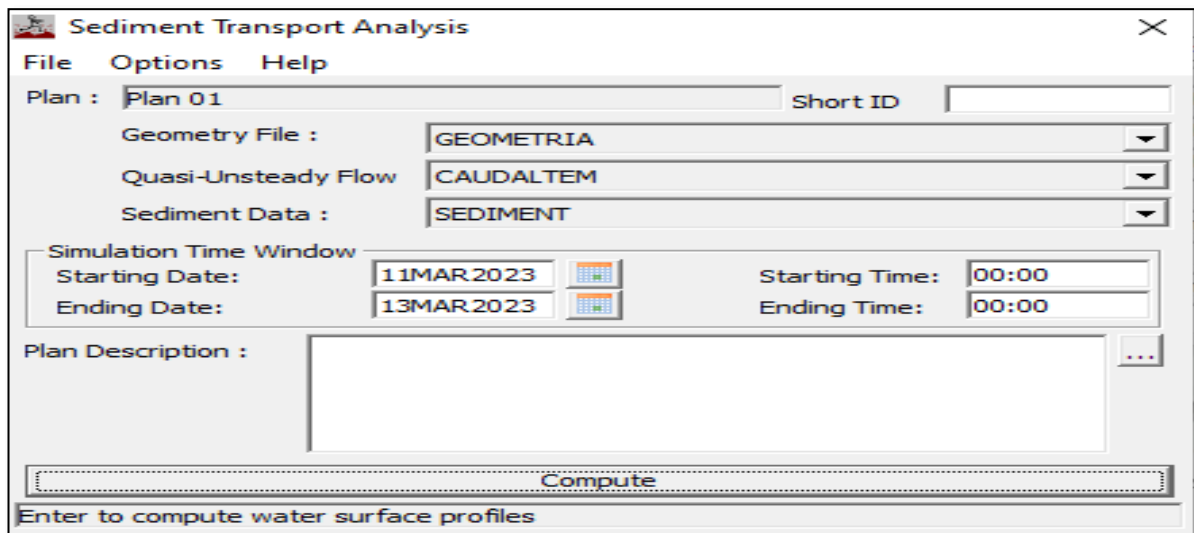


Figura 54 Creación del plan para la aplicación del modelo matemático TEDRI 1D7C en la extensión Sediment Transporte Analysis-Hec Ras

Nota. En la figura 54 se visualiza la creación del modelamiento hidrodinámico que se ejecutará para un periodo de 3 días con un caudal de 3109.6 m³/s, lo que garantiza la precisión de los cálculos del modelo matemático TEDRI 1D7C.

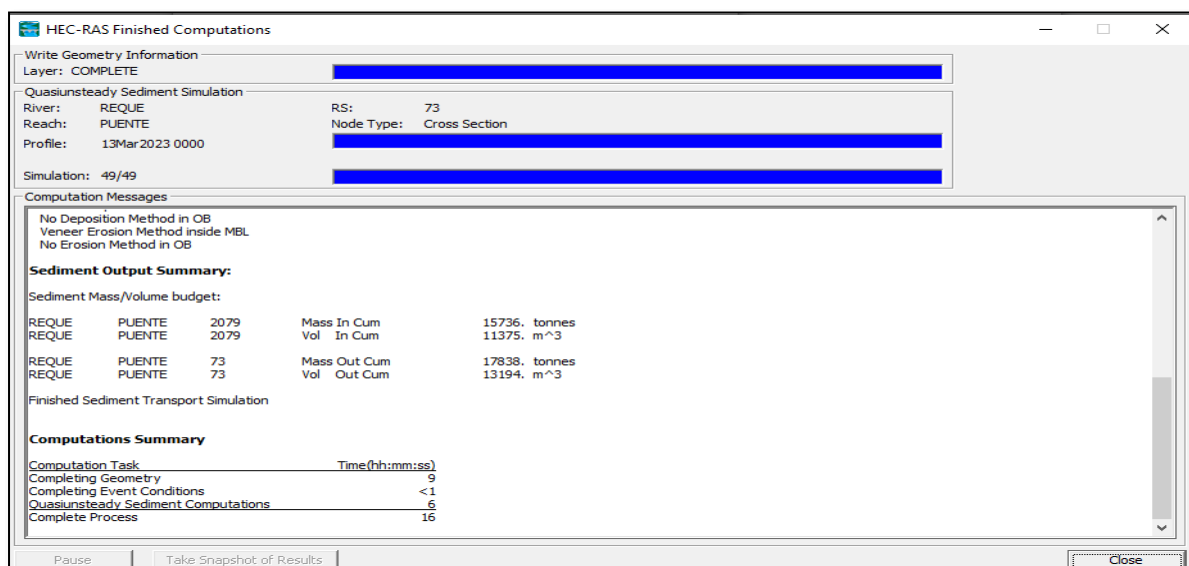


Figura 55 Culminación de la ejecución del modelo matemático TEDRI 1D7C

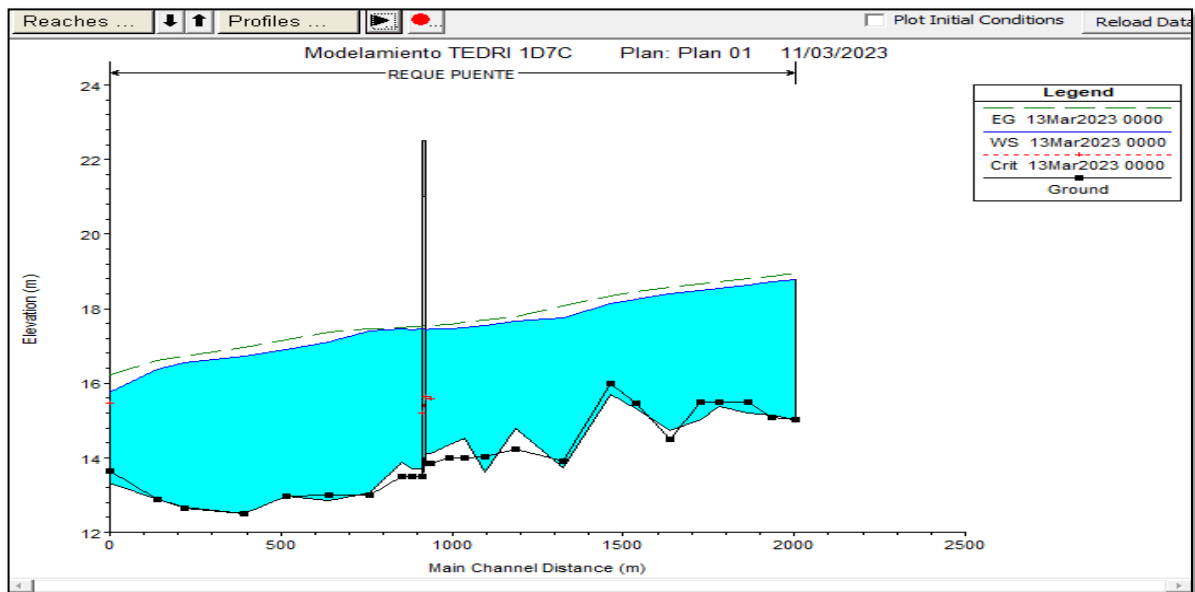


Figura 56 Identificación de zonas donde se genera erosión y socavación en el tramo del río Reque

Nota. En la figura 56, se puede observar las zonas donde hay presencia de erosión (la línea punteada sobre pasa la línea continua) y las zonas donde hay sedimentación (la línea punteada pasa debajo de la línea continua). Se puede identificar que en la zona del puente Reque existe presencia de sedimentación.

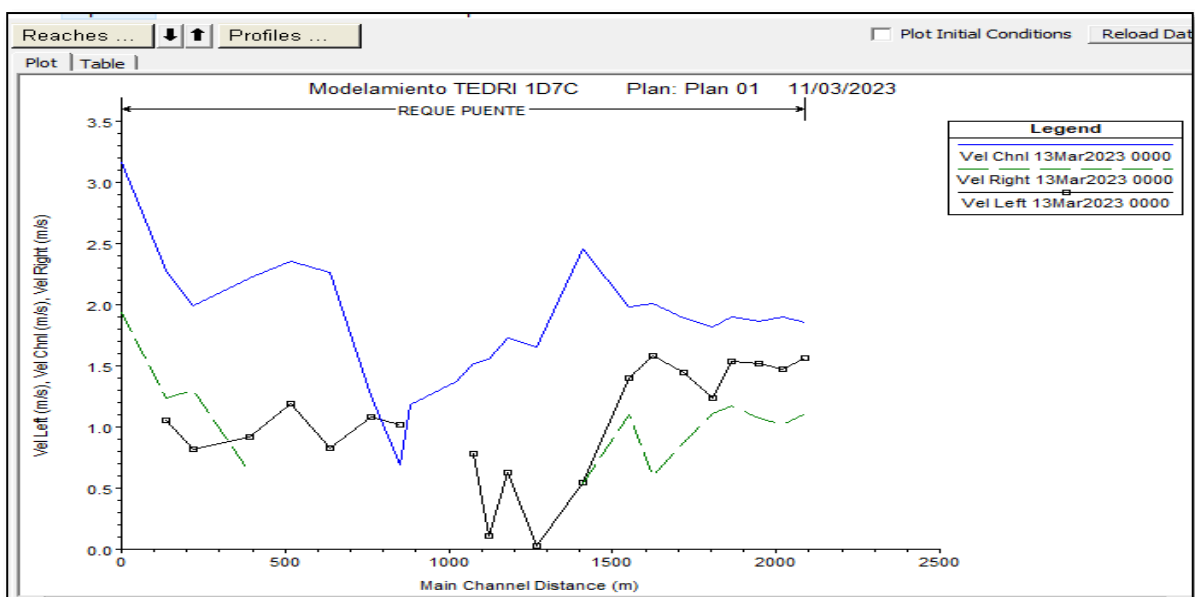


Figura 57 Perfiles de velocidades a lo largo del tramo del río Reque

Nota. se observa una variación de velocidades a os largo del río Reque, notándose la disminución de la velocidad en el tramo del puente Reque, ya que en este tramo la sección transversal es de mayor longitud.

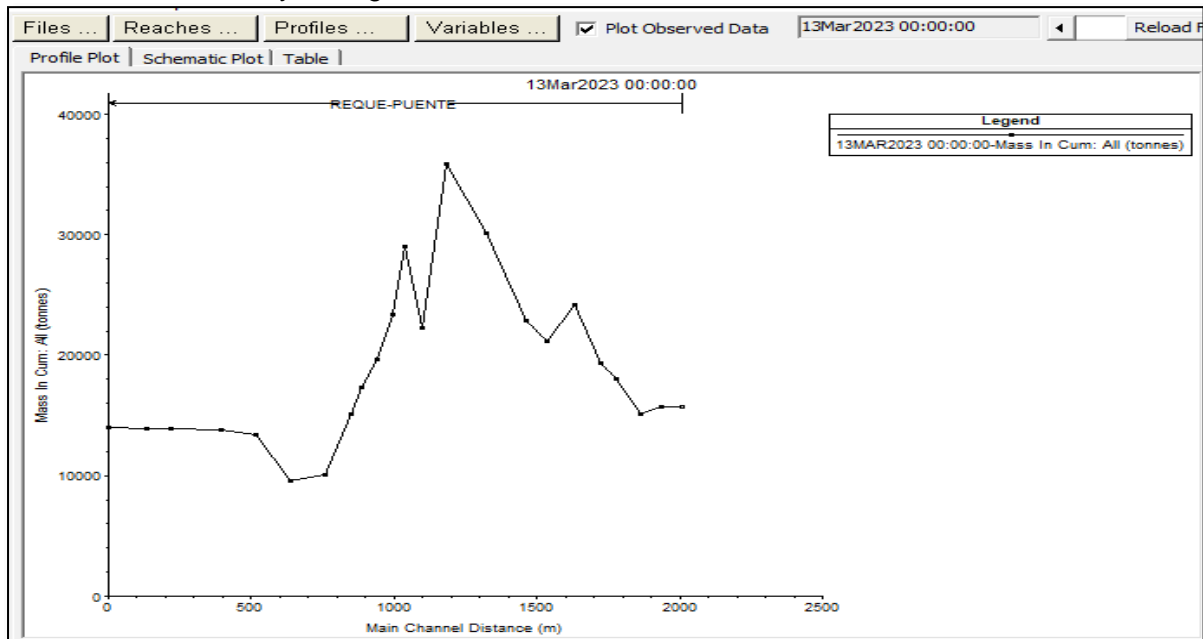


Figura 58 Masa total acumulada que en los 3 días de simulación

Nota. En la figura 56 se presenta la masa total acumulada durante los 3 días de simulación obteniendo un máximo de 35000 toneladas de transporte de sedimentos.

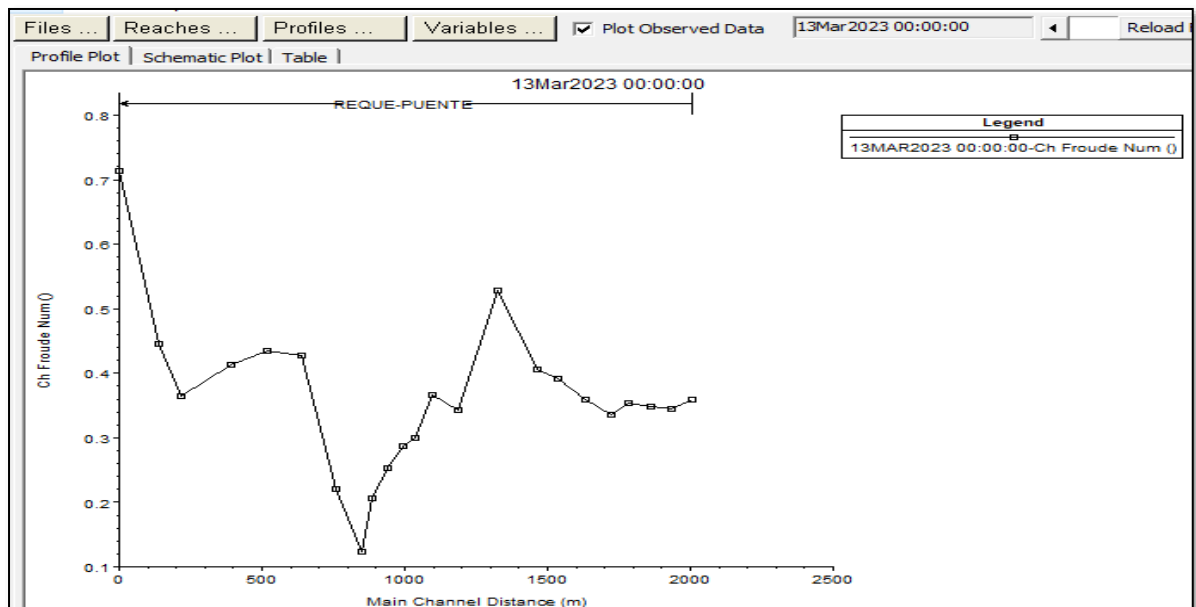


Figura 59 Número de Froude a lo largo del río Reque

Nota. Se observa el número de Froude a lo largo del río Reque, todos están en un flujo sub crítico al ser menores de 1.

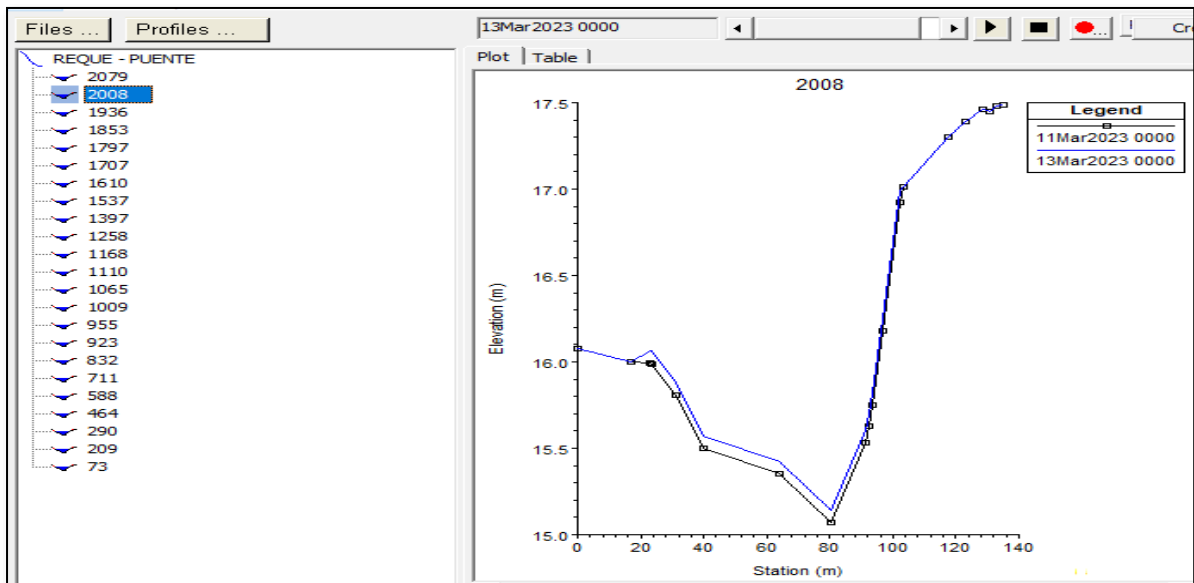


Figura 60 Comportamiento de la sección transversal 2008 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 60, se observa que la línea azul está por encima de la línea negra, por lo que la sección trasversal 2008 presenta sedimentación.

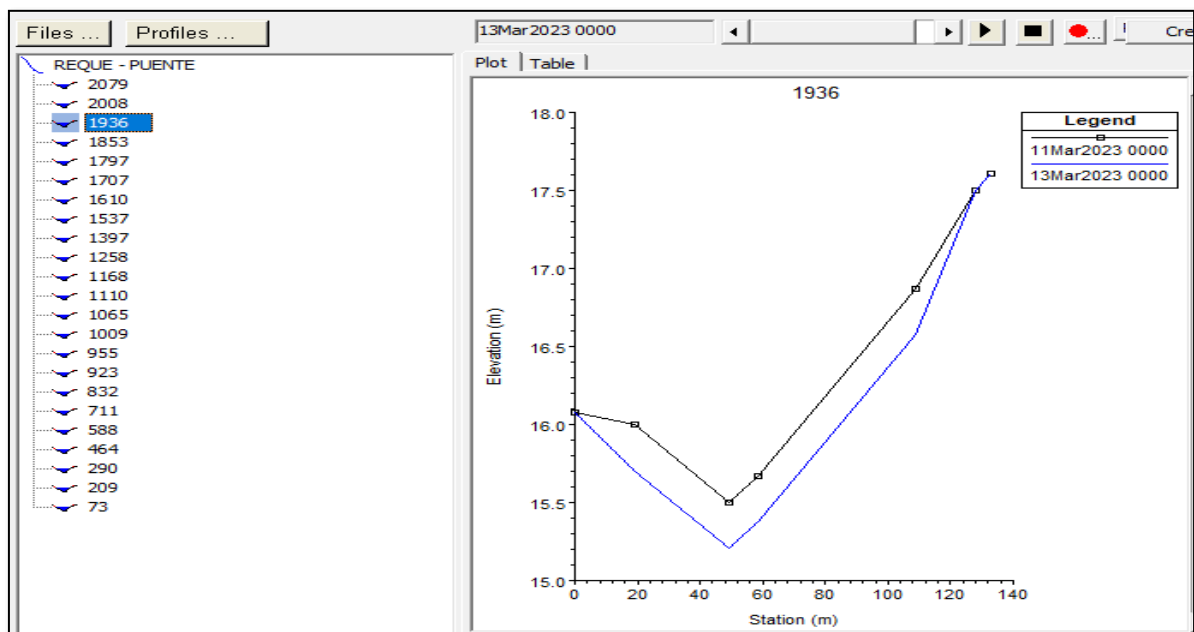


Figura 61 Comportamiento de la sección transversal 1936 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 59, se observa que la línea azul está por debajo de la línea negra, por lo que la sección trasversal 1936 presenta erosión.

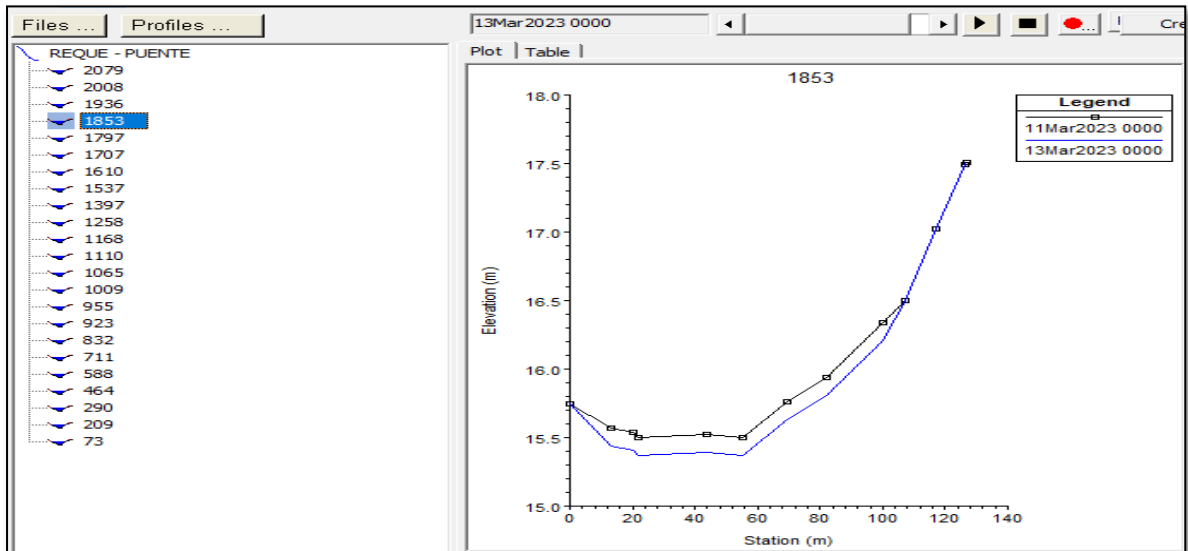


Figura 62 Comportamiento de la sección transversal 1853 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 60, se observa que la línea azul está por debajo de la línea negra, por lo que la sección trasversal 1853 presenta erosión.

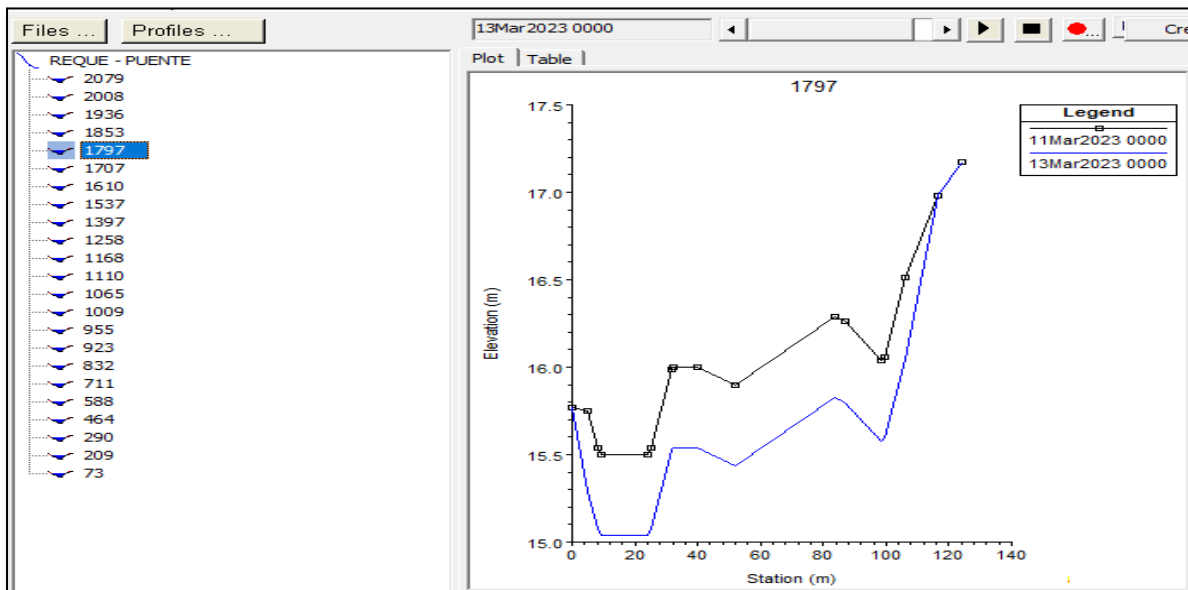


Figura 63 Comportamiento de la sección transversal 1797 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 61, se observa que la línea azul está por debajo de la línea negra, por lo que la sección trasversal 1797 presenta erosión.

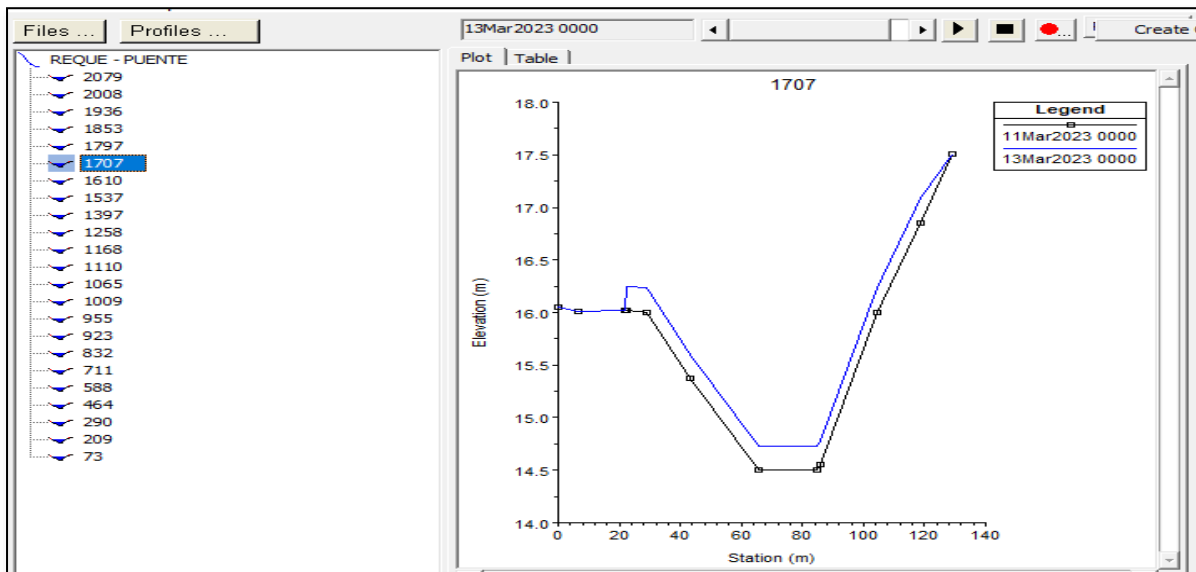


Figura 64 Comportamiento de la sección transversal 1707 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 62, se observa que la línea azul está por encima de la línea negra, por lo que la sección trasversal 1707 presenta sedimentación.

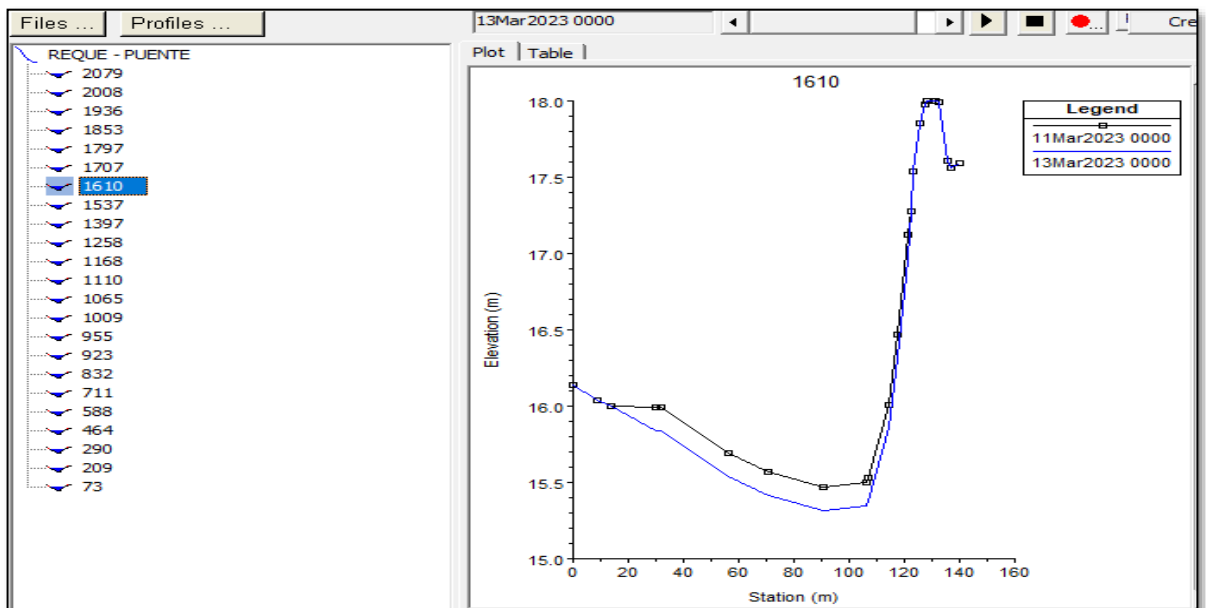


Figura 65 Comportamiento de la sección transversal 1610 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 63, se observa que la línea azul está por debajo de la línea negra, por lo que la sección trasversal 1610 presenta erosión.

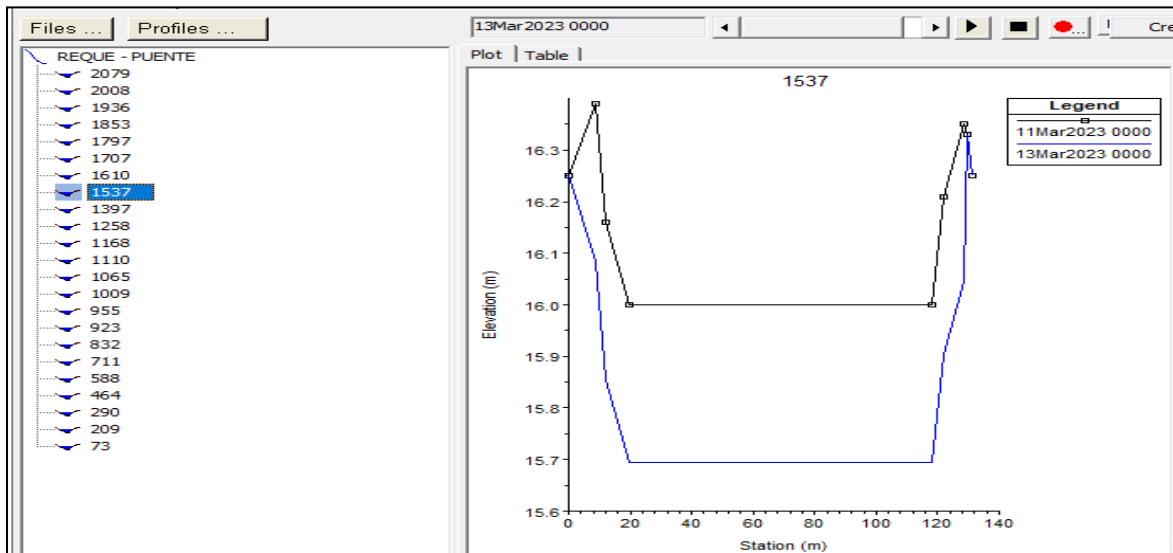


Figura 66 Comportamiento de la sección transversal 1537 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 64, se observa que la línea azul está por debajo de la línea negra, por lo que la sección trasversal 1537 presenta erosión.

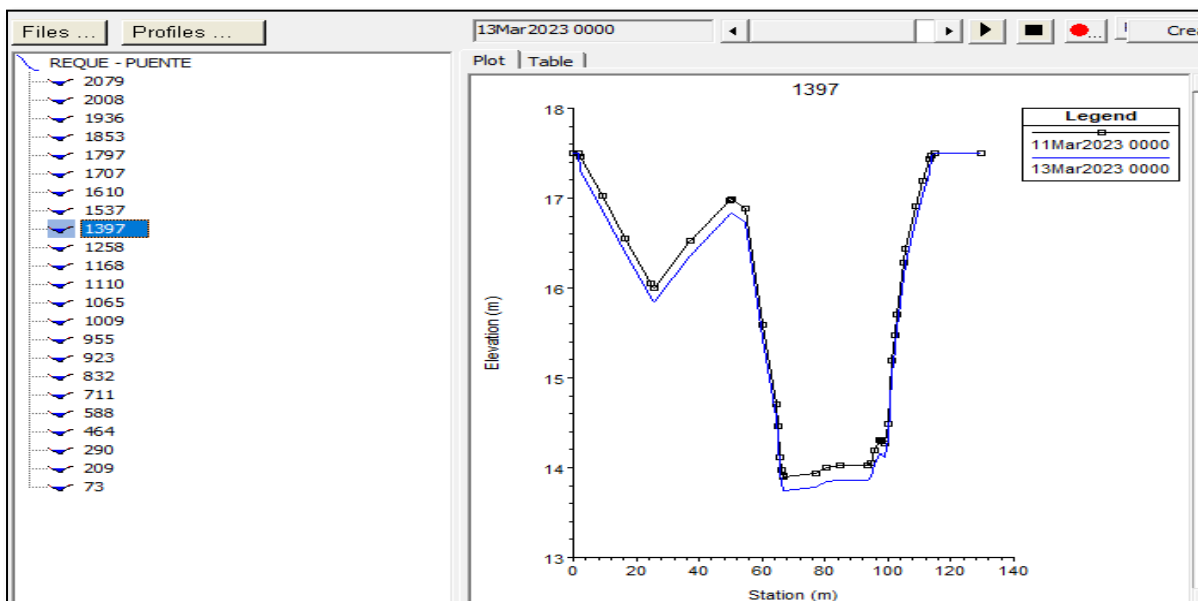


Figura 67 Comportamiento de la sección transversal 1397 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 65, se observa que la línea azul está por debajo de la línea negra, por lo que la sección trasversal 1397 presenta erosión

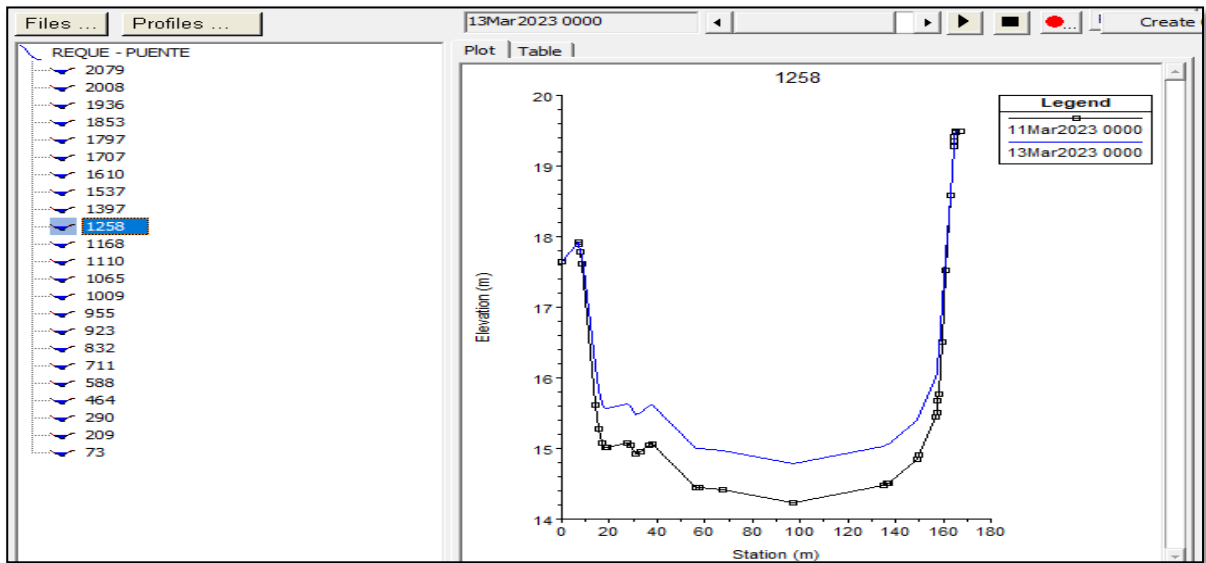


Figura 68 Comportamiento de la sección transversal 1258 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 66, se observa que la línea azul está por encima de la línea negra, por lo que la sección trasversal 1258 presenta sedimentación.

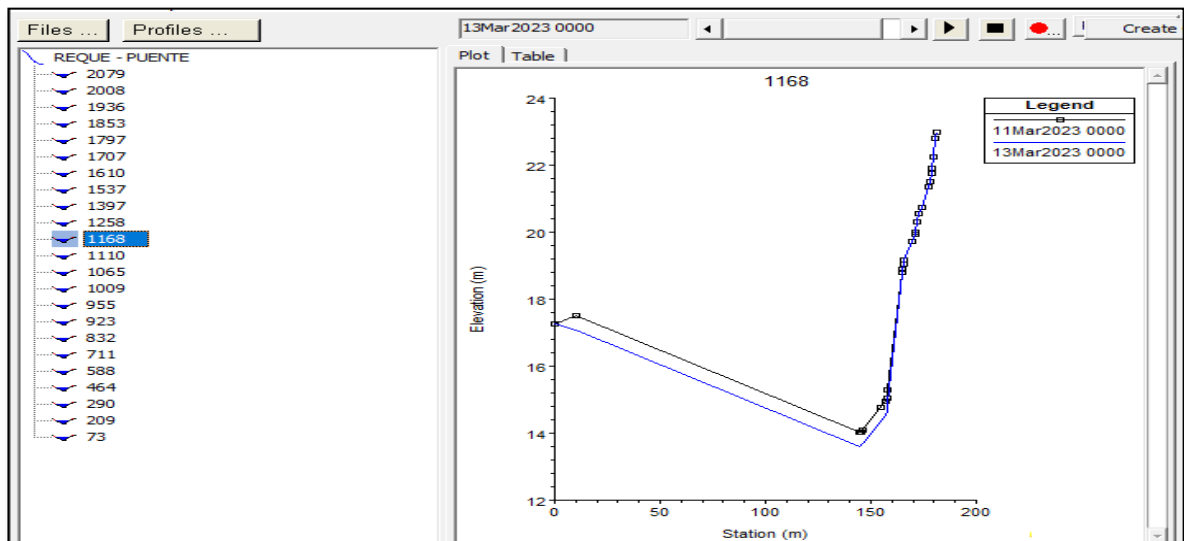


Figura 69 Comportamiento de la sección transversal 1168 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 67, se observa que la línea azul está por debajo de la línea negra, por lo que la sección trasversal 1168 presenta erosión.

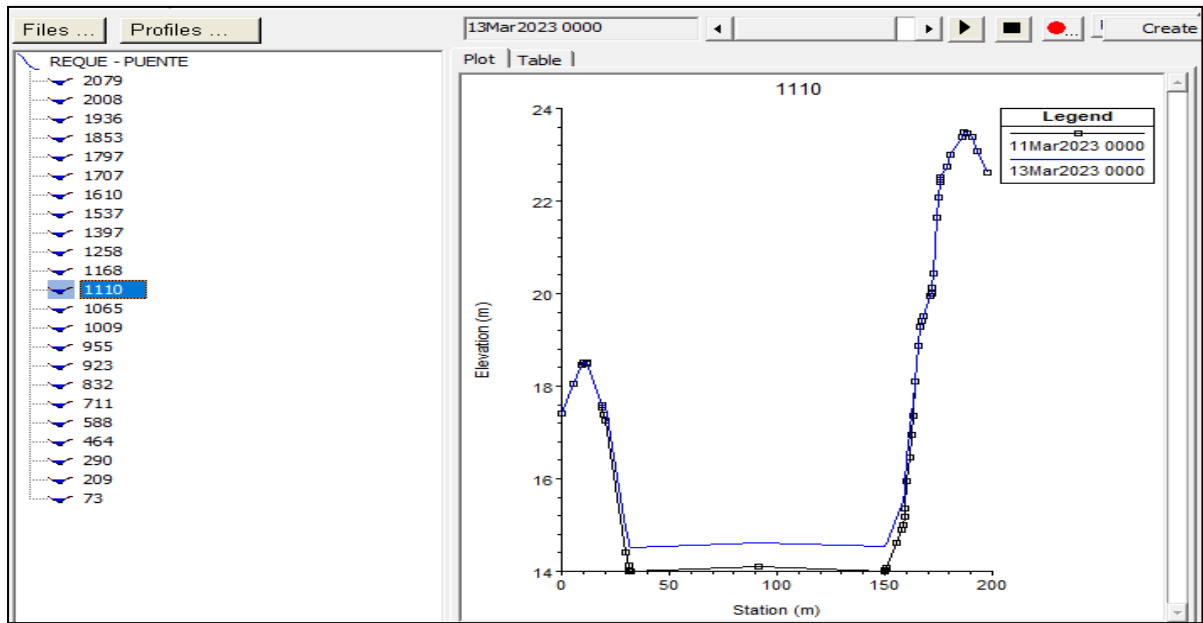


Figura 70 Comportamiento de la sección transversal 1110 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 68, se observa que la línea azul está por encima de la línea negra, por lo que la sección trasversal 1110 presenta sedimentación.

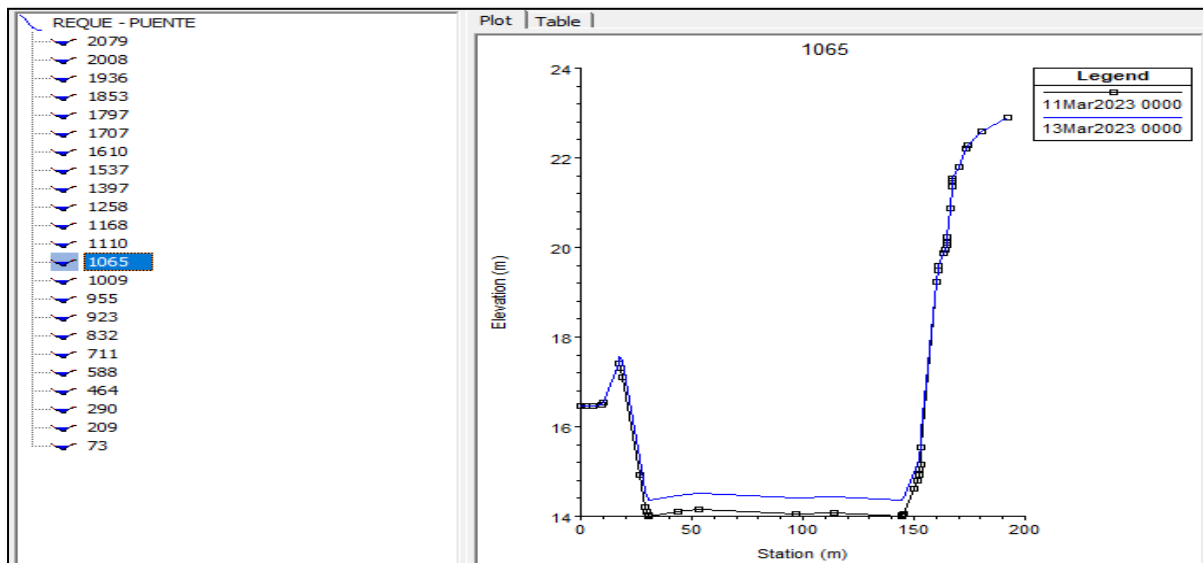


Figura 71 Comportamiento de la sección transversal 1065 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 69, se observa que la línea azul está por encima de la línea negra, por lo que la sección trasversal 1065 presenta sedimentación.

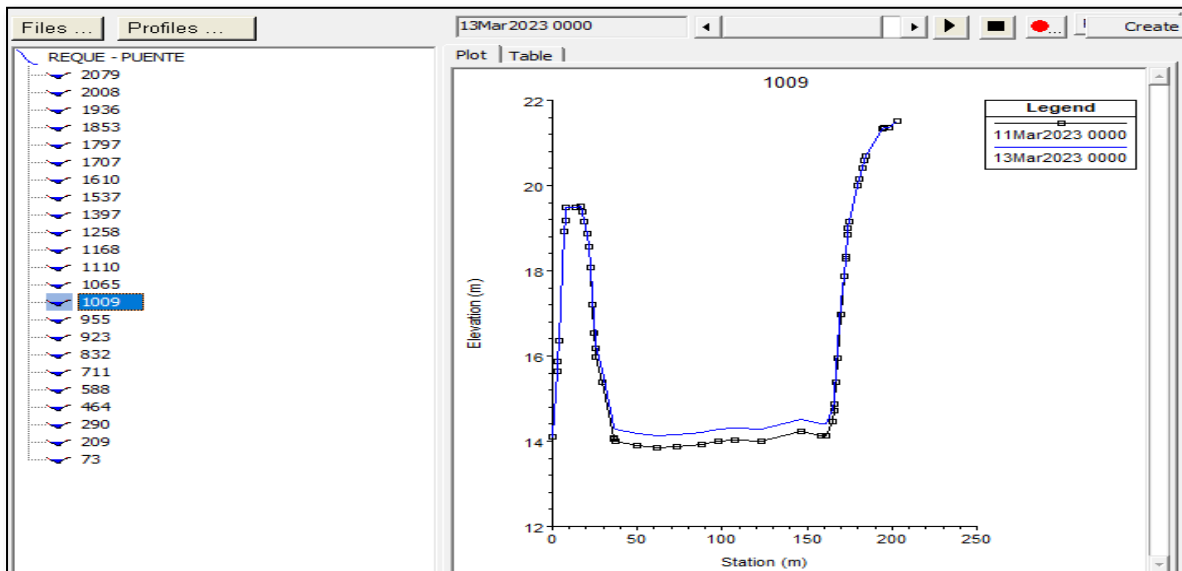


Figura 72 Comportamiento de la sección transversal 1009 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 70, se observa que la línea azul está por encima de la línea negra, por lo que la sección trasversal 1009 presenta sedimentación.

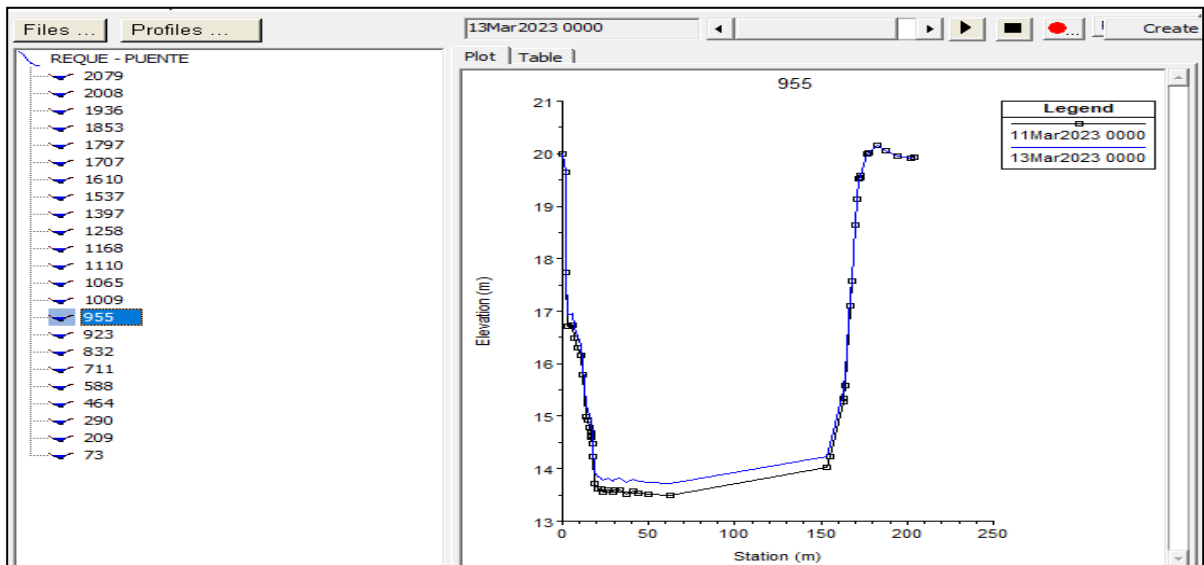


Figura 73 Comportamiento de la sección transversal 955 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 71, se observa que la línea azul está por encima de la línea negra, por lo que la sección trasversal 955 presenta sedimentación.

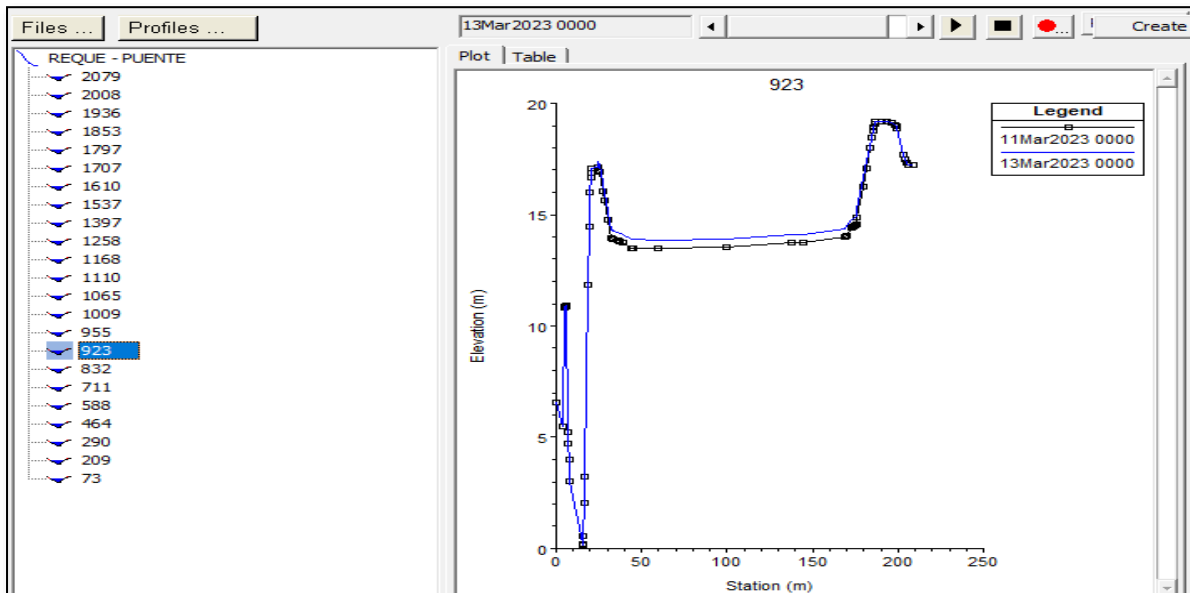


Figura 74 Comportamiento de la sección transversal 923 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 72, se observa que la línea azul está por encima de la línea negra, por lo que la sección trasversal 923 presenta sedimentación.

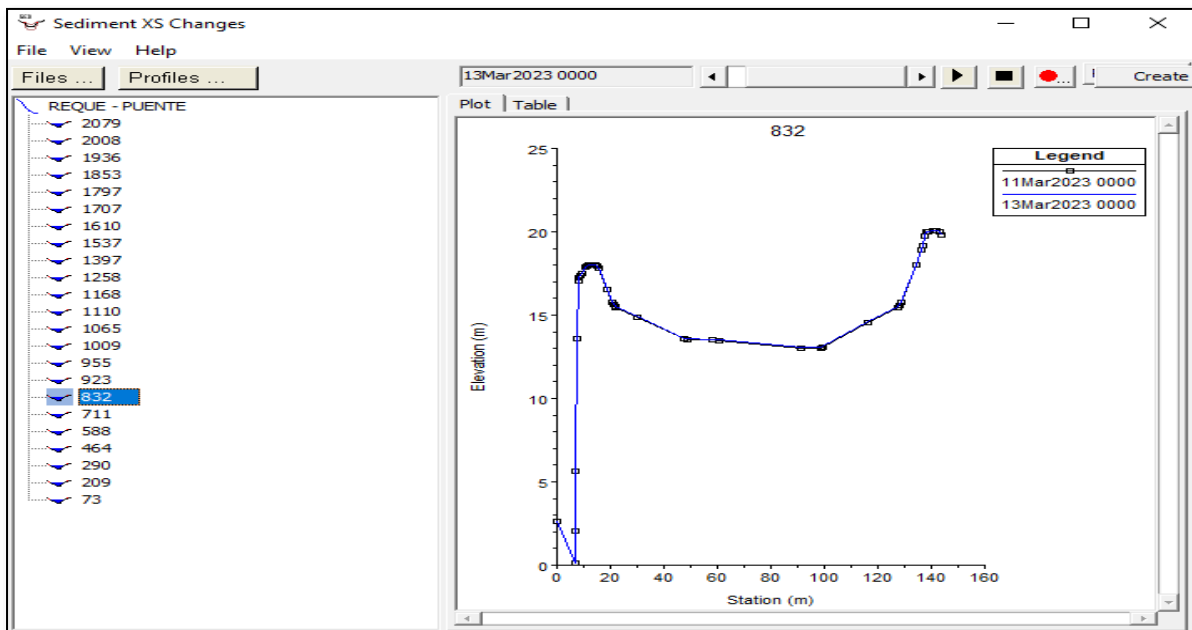


Figura 75 Comportamiento de la sección transversal 832 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 73, se observa que la línea azul está por encima de la línea negra, por lo que la sección trasversal 832 presenta sedimentación.

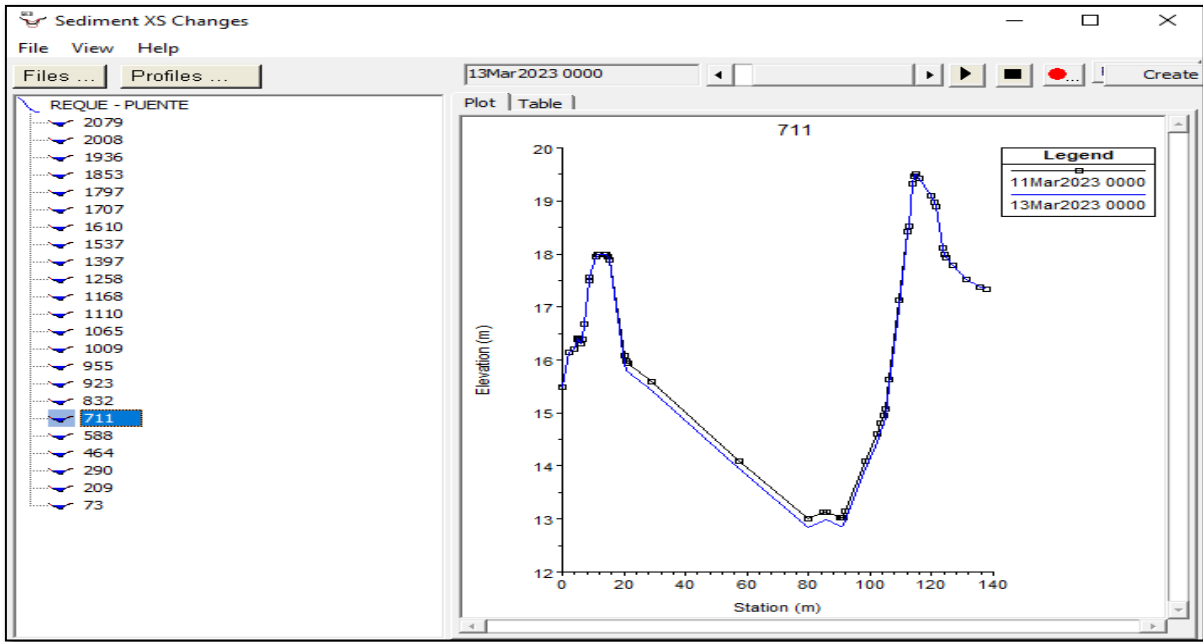


Figura 76 Comportamiento de la sección transversal 711 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 76, se observa que la línea azul está por debajo de la línea negra, por lo que la sección trasversal 711 presenta erosión.

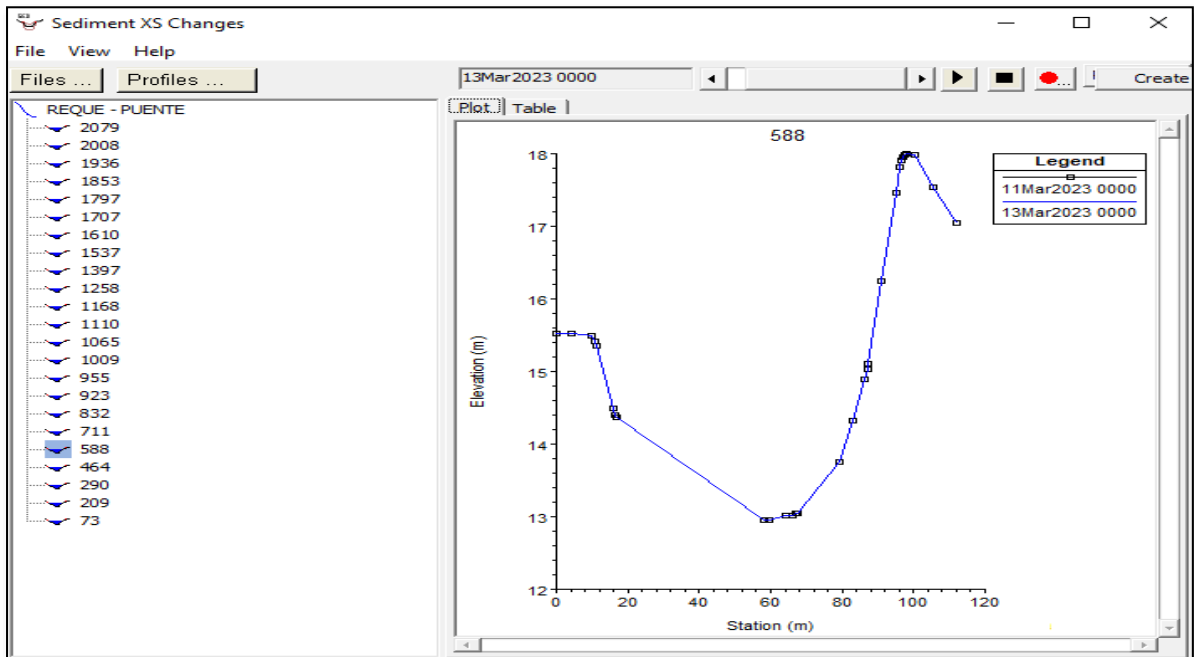


Figura 77 Comportamiento de la sección transversal 588 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 77, se observa que la línea azul está por encima de la línea negra, por lo que la sección trasversal 588 presenta sedimentación.

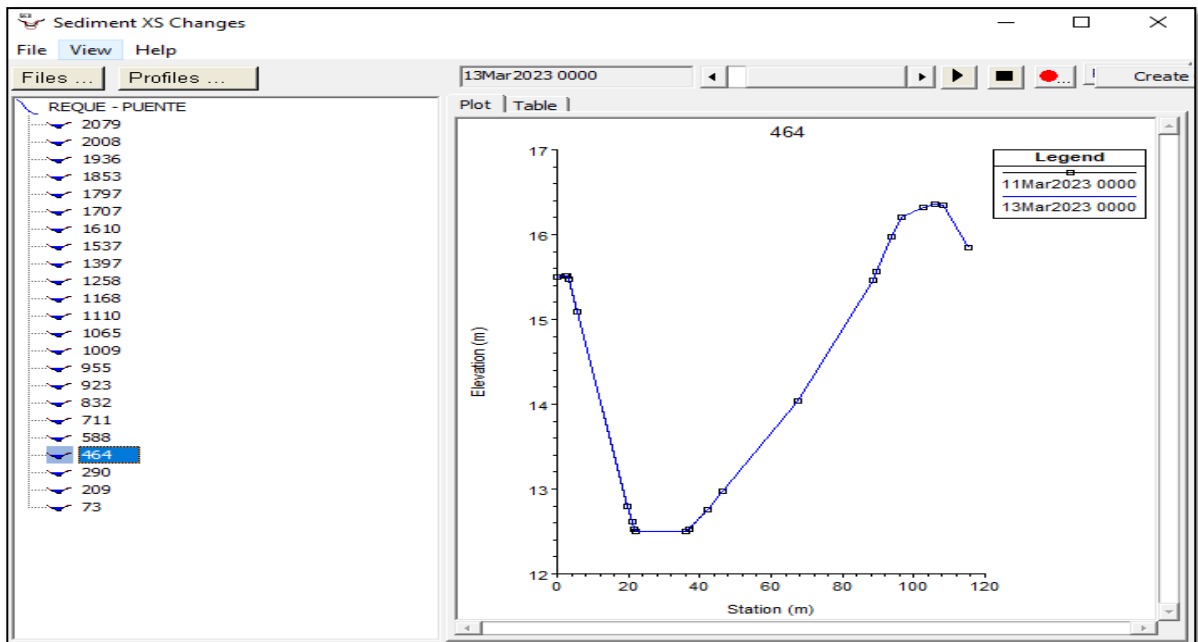


Figura 78 Comportamiento de la sección transversal 464 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 78, se observa que la línea azul está por encima de la línea negra, por lo que la sección trasversal 464 presenta sedimentación.

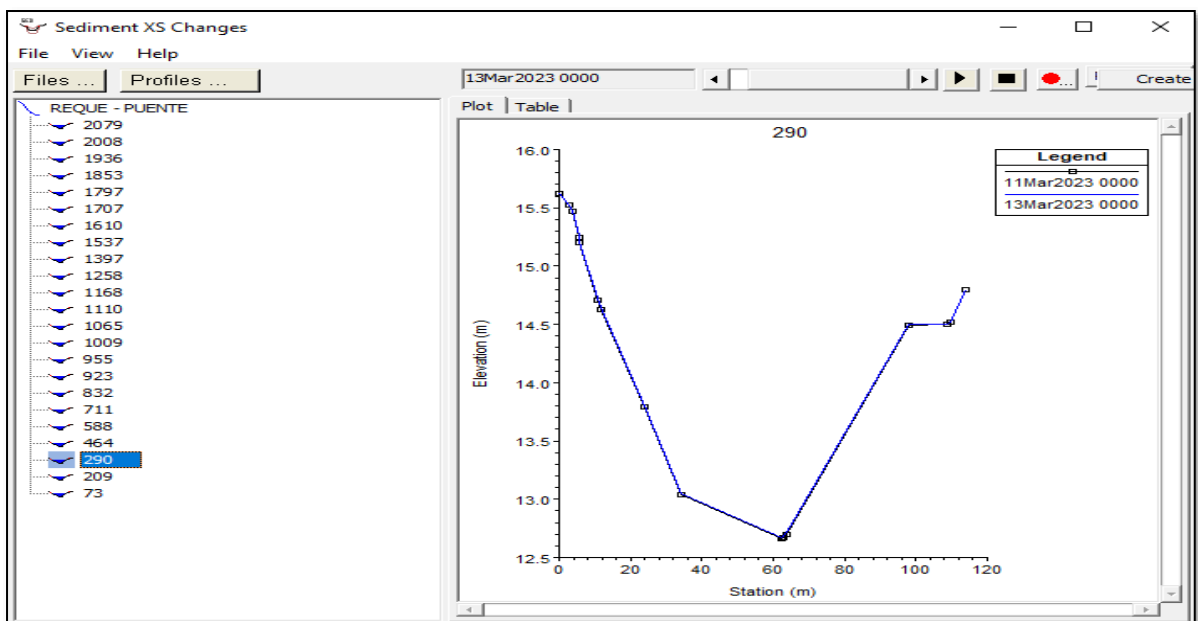


Figura 79 Comportamiento de la sección transversal 290 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 79, se observa que la línea azul está por encima de la línea negra, por lo que la sección trasversal 290 presenta sedimentación.

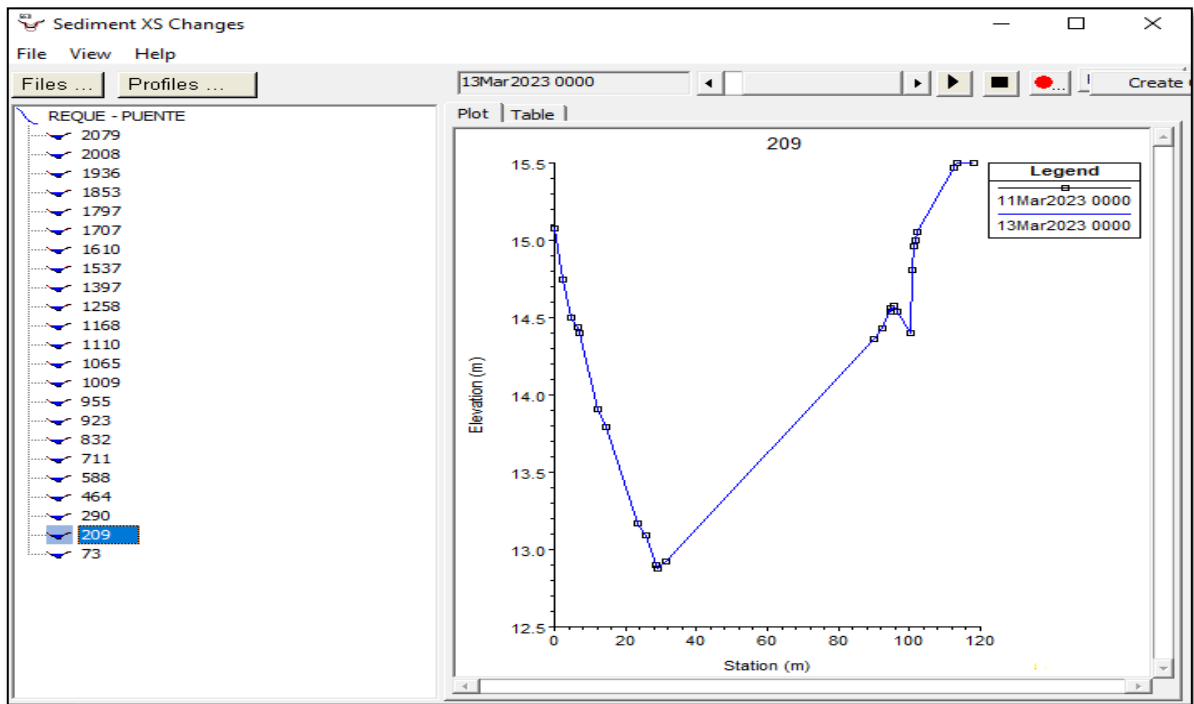


Figura 80 Comportamiento de la sección transversal 209 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 80, se observa que la línea azul está por encima de la línea negra, por lo que la sección trasversal 209 presenta sedimentación.

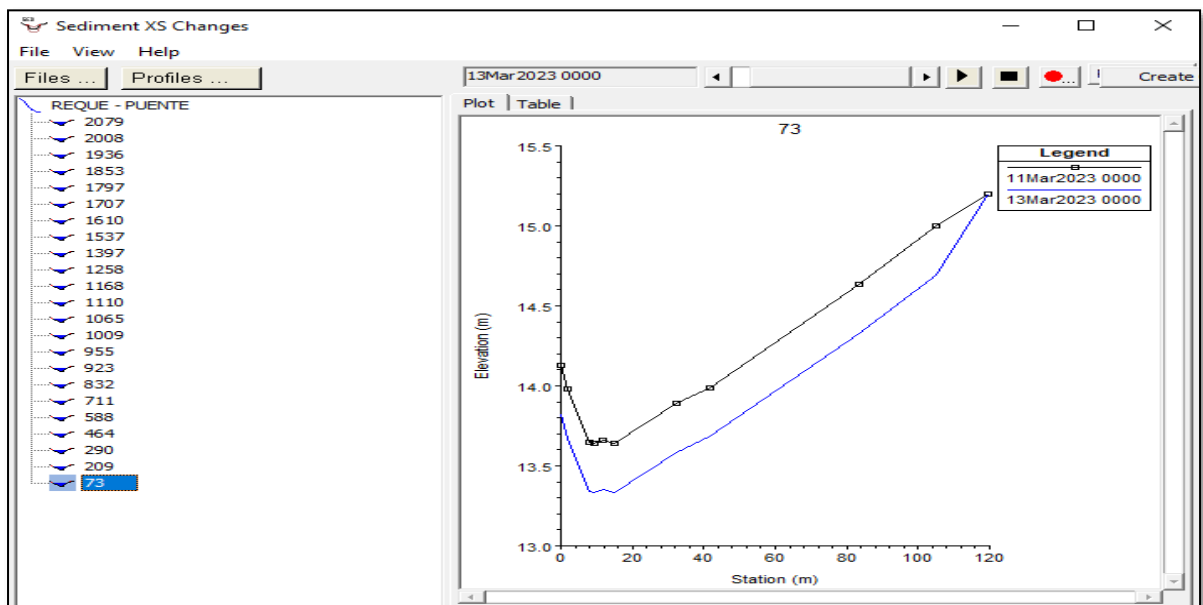


Figura 81 Comportamiento de la sección transversal 79 frente al transporte de sedimentos

Nota. en la figura 81, se observa que la línea azul está por encima de la línea negra, por lo que la sección trasversal 81 presenta sedimentación.

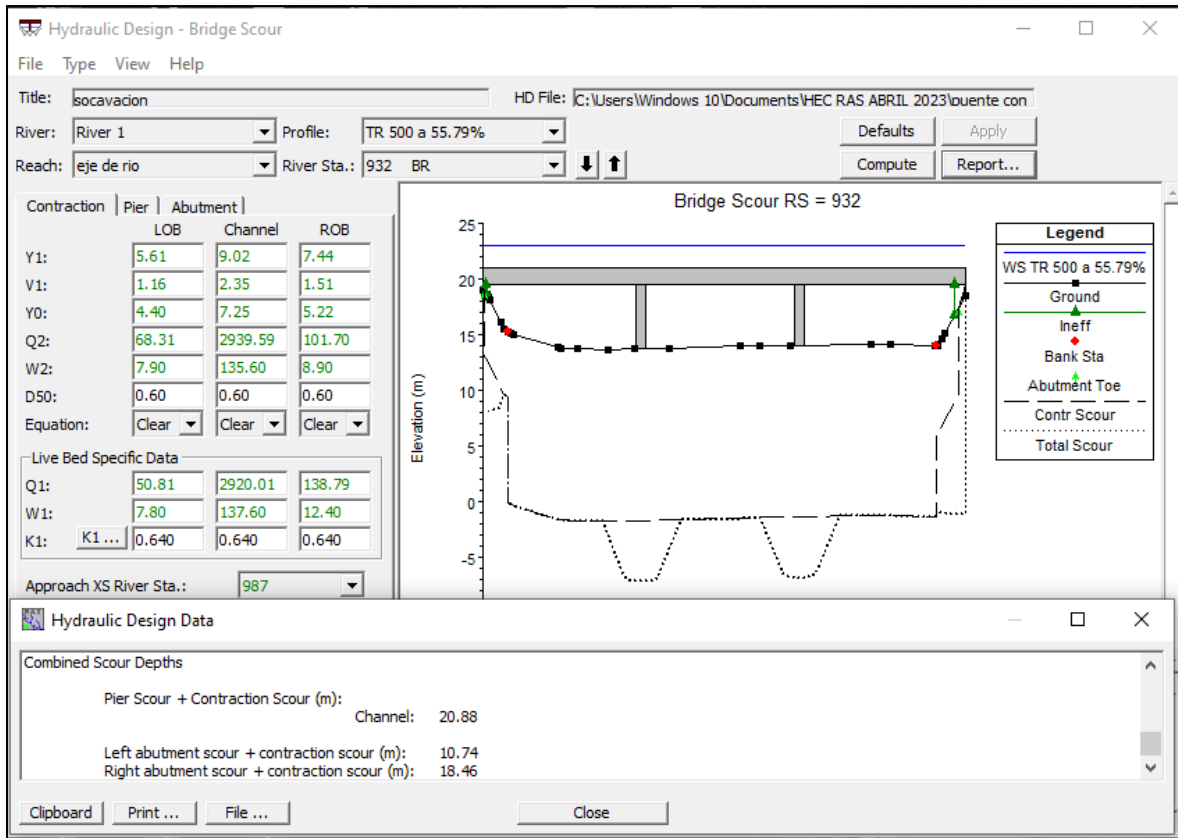


Figura 82 se tiene una socavación en los pilares de 20.88 m y en el estribo izquierdo 10.74 m y en el estribo derecho 18.46m.

Tabla 17:

caudales progresivos desde el máximo fenómeno del niño

PORCENTAJE	CAUDALES	SOCAVACION		
		PILARES	ESTRIBOS IZQUIERDO	DERECHO
0%	1996 m3/seg	14.51	5.01	11.64
5%	2096 m3/seg	15.85	5.54	12.47
10%	2196 m3/seg	16.36	6.06	13.08
15%	2295 m3/seg	16.86	6.59	13.67
20%	2395 m3/seg	17.37	7.10	14.18
25%	2495 m3/seg	17.87	7.61	14.89
30%	2595 m3/seg	18.37	8.12	15.47
35%	2695 m3/seg	18.86	8.65	16.06
40%	2794 m3/seg	19.35	9.14	16.64
45%	2894 m3/seg	19.83	9.65	17.22
50%	2994 m3/seg	20.31	10.16	17.80
55%	3093.8 m3/seg	20.79	10.67	18.39
55.79%	3109.6 m3/seg	20.88	10.74	18.46

Los pilotes actuales del puente reque han sido diseñados con un caudal de 2000 m3/s según Villaseca [48]

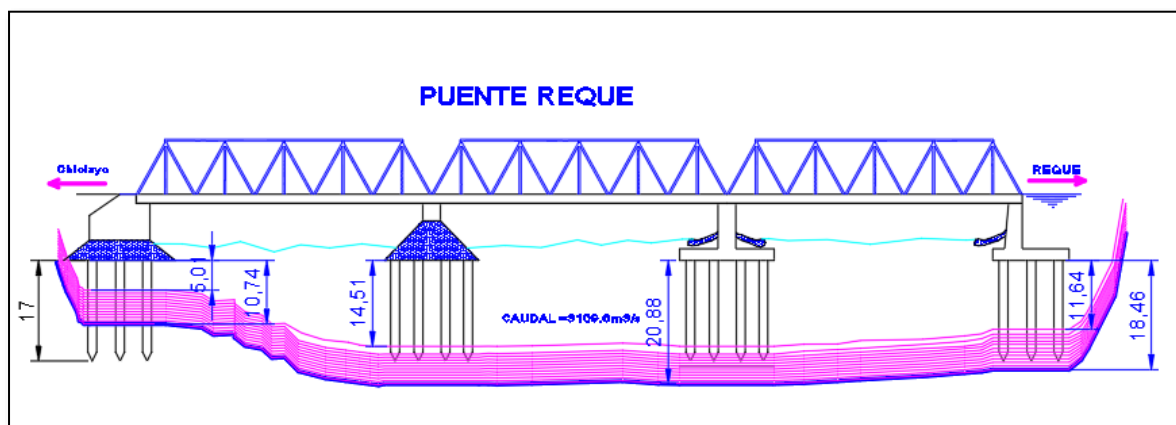


Figura 83 Socavación progresiva desde el máximo fenómeno del niño de 1998 con un caudal de 1996 m3/seg hasta el caudal diseñado de 3109.6 m3/s.

3.2. Discusión de resultados

De acuerdo al objetivo general, de los resultados obtenidos, podemos aceptar la hipótesis planteada en esta investigación, la aplicación del modelo matemático hidromorfodinámico TEDRI 1D7C es una herramienta útil para prevenir los efectos hidráulicos en la cimentación del Puente Reque. Luego de realizar la investigación, se puede concluir que la hipótesis es cierta, ya que se logró determinar los parámetros morfodinámicos que permitieron estimar los posibles efectos hidráulicos en la cimentación del Puente Reque.

Los resultados obtenidos en la presente investigación, guardan relación con diferentes hallazgos que demuestran la eficacia de modelos matemáticos en la prevención de efectos hidráulicos en los puentes. Por ejemplo, un estudio realizado por Liu et al. (2017), se utilizó un modelo numérico 2D para evaluar los efectos hidráulicos en los pilares de un puente, los resultados mostraron que el modelo numérico era capaz de predecir los efectos en los pilares del puente.

Con respecto al objetivo específico 1, se realizó de manera adecuada el levantamiento topográfico y el estudio de mecánica de suelos, teniendo en cuenta el ensayo granulométrico, que es una condición que interfiere en la aplicación del modelo matemático TEDRI 1D7C, de acuerdo a la investigación realizada por Manay, J.H. (2019) indica que sostiene una topografía representativa en la costa peruana cuya nacientes se encuentran en las costas altas con altas pendientes y al desembocar en el mar presenta pendientes mínimas característicos de la topografía en la costa.

Con respecto al objetivo específico 2, en su investigación Arriola y Bejarano [49] realizan el estudio hidrológico de la cuenca Reque considerando un caudal de diseño de 2075 m³/s, con lo que coincidimos con dicha investigación por el hecho de tener caudales del modelado hec-hms, donde se obtuvo un caudal de 3109.6 m³/s y se obtuvo las precipitaciones máximas anuales en las 15 estaciones obteniendo así los datos pluviométricos de las cartas nacionales de Senamhi para delimitar la cuenca.

De acuerdo al objetivo específico 3, el modelo matemático TEDRI 1D7C, se enfoca en el movimiento del agua y los sedimentos a lo largo del eje del río, lo cual tenemos las diferentes condiciones de frontera especificadas en la presente investigación para su aplicación donde se obtuvo un número de Froude menor a 1 que es un flujo subcrítico, sin embargo, existe un estudio realizado por Bejarano et al. [49], donde se compararon los resultados obtenidos de un canal de laboratorio para evaluar los efectos hidráulicos en un puente. Los autores encontraron que los resultados de modelo numérico tenían una desviación significativa en comparación con los datos de las fuerzas hidráulicas en las pilas del puente.

Con respecto al objetivo específico 4, En la investigación de Arriola et al. [50], se diseñó con un caudal de 2075.00 m³/s, teniendo una socavación máxima en los pilares del puente Reque de 17.91 metros. Sin embargo, la presente investigación se diseñó con un caudal de 3109.6 m³/s teniendo una socavación máxima de 20.88 metros en los pilares del puente Reque.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Con respecto al objetivo específico 1, se obtuvo los datos topográficos así generando el modelo digital de elevaciones (MDE) los planos topográficos, así como la pendiente y se realizó la mecánica de suelos con el ensayo granulométrico, obteniendo el porcentaje granulométrico de las 5 muestras extraídas del área de estudio.
- De acuerdo al objetivo específico 2, se determinó los parámetros hidrológicos y morfodinámicos del río Reque a través del análisis estadístico de las precipitaciones máximas diarias anuales para un periodo de retorno de 500 años se utilizaron los programas software HIDROESTA 2(para el análisis estadístico); ARCGIS (para determinar la fisiografía se la cuenca), y el software HEC HMS (Para determinar las máximas avenidas).
- De acuerdo al objetivo específico 3, se aplicó el modelo matemático TEDRI 1D7C tomando en cuenta las condiciones de frontera y utilizando el caudal de entrada de $3109.6 \text{ m}^3/\text{s}$. Se determinó una socavación en los pilares del Puente Reque de 20.88 metros en el pilar derecho e izquierdo, y en el estribo izquierdo se presentó una socavación de 10.74 metros y en el estribo derecho de 18.46 metros de socavación.
- De acuerdo al objetivo específico 4, se estimaron los posibles efectos hidráulicos a ocasionarse en los pilares del Puente Reque mediante el modelo matemático hidromorfodinámico TEDRI-1D-7C, MEDIANTE EL SOFTWARE Hec Ras. Se concluyó que los efectos hidráulicos en los pilares del Puente Reque son significativos, especialmente en los pilares teniendo una socavación de 20.88 m y el estribo izquierdo teniendo una socavación 10.74 m y en el derecho una socavación de 18.46 metros.

4.2. Recomendaciones

Se recomienda, en primera instancia, hacer visita a campo y observar las áreas donde se van hacer las calicatas y donde se van a estacionar los equipos topográficos para hacer la topografía porque se tiene que abarcar toda el área de estudio para tener resultados óptimos.

Se recomienda considerar diferentes escenarios hidrológicos y condiciones de frontera en los próximos modelos, para obtener resultados más robustos y generales; así mismo se hace la realización de pruebas de campo para validar los resultados del modelamiento hidrodinámico, ya que las condiciones del terreno afectan el comportamiento hidrodinámico del río.

Es importante tener en cuenta que los modelos matemáticos son simplificaciones de la realidad, y que siempre habrá cierta incertidumbre asociada con los resultados obtenidos. Por lo tanto, es importante ser cauteloso al interpretar los resultados y tomar medidas preventivas adecuadas.

Con respecto a la aplicación del modelo matemático TEDRI 1C7D en el software Hec Ras, se recomienda utilizar diferentes softwares de modelamiento. Todos los resultados obtenidos en la presente investigación para un periodo de retorno de 500 años deben ser tomados como resultados en función de la experiencia del modelador y de las condiciones específicas que se dan en el puente Reque, en ese sentido se puede ver variación en diferentes modelamientos hidrodinámicos y aplicación del modelo matemático TEDRI 1D7C.

REFERENCIAS

- [1] Y. . A. Pumachaico Gamboa y E. . G. Zavaleta Collave, *Modelamiento hidráulico del río Sinsicap para prevención de inundaciones - tramo Choro - Lucmar, caserío Collambay - Simbal -Trujillo*, 2020.
- [2] P. Basile y G. Riccardi, «Desarrollo y aplicación del modelo matemático hidromorfodinámico TEDRI-1D7C,» UNR Editora, Rosario, 2017.
- [3] P. Basile, G. Riccardi, F. Peruzzo, García y M., «Modelación Hidrodinámica 2DH a Escala de Tramo del Río Paraná Inferior,» *X Jornada de Ciencia y Tecnología 2016*, p. 15, 2017.
- [4] Y. Castellanos Hernández, *Artist, Medidas de mitigación al efecto de socavación que se presenta en el caño Buque, entre el puente ubicado en la vía Bogotá a 1km del túnel Buenavista al puente de la Av. 40 cerca de la Cll. 15, aplicando soluciones de ingeniería [Tesis de pregrado]. [Art]. Universidad Santo Tomás., 2018.*
- [5] M. Elbio Felipe, *SOCAVACIÓN PRODUCIDA POR EL RÍO HUALLAGA AL PUENTE COLPA ALTA EN LA PROVINCIA DE HUÁNUCO, UTILIZANDO LOS MÉTODOS DE ARTAMANOV, STRAUB Y MAZA, EN EL HEC-RAS*, Lima, 2016.
- [6] A. J. Guebara segura, *Artist, Modelación hidrológica e hidráulica para determinar las crecidas en el Río Gera en la Provincia de Moyobamba, 2015 [tesis de pregrado]. [Art]. Universidad Nacional de San Martín, 2018.*
- [7] L. Metzger Terrazas, «Modelamiento hidrológico para pronóstico estacional de caudales del Río Ramis,» SENAMHI-Institucional, Lima, 2017.
- [8] N. N. Buguña Hernández, «Aplicación de modelos hidrológicos para la estimación de caudales mensuales en la sub cuenca del río Bigote,» Universidad de Piura, Piura, 2019.
- [9] R. E. Orellana Cabello, «Modelamiento hidrológico e hidráulico para el análisis de inundaciones en la ciudad de Piura utilizando HEC-HMS y HEC-RAS,» Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2021.
- [10] S. P. Velarde Bernal, *Artist, Simulación del proceso de socavación del cauce del Río Rímac - caso Puente Morón [Título de posgrado, Universidad Nacional Agraria de la Molina]. [Art]. 2021.*
- [11] S. A. Ochoa Garcia, «Evaluación de modelos hidrodinámicos para representar flujos en cauces naturales,» *MASKANA, I+D+ingeniería*, pp. 1-13, 14 Noviembre 2015.
- [12] S. Guizzardi y G. Martin Sabarots, «MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRODINÁMICA DEL RIO URUGUAY,» 2018.

- [13] C. Baykal, B.M. Sumer, D.R. Fuhrman, N.G. Jacobsen y J. Fredsøe, «Simulación numérica de procesos de socavación y relleno alrededor de un pilote circular en oleaje,» 2017.
- [14] R. Monte Domecq , R. Aseretto y R. Takahashi, «MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS:Y PANÉ Y JEJUÍ, UTILIZANDO HEC-HMS CON FINES DE PRONÓSTICOS HIDROLÓGICOS EN EL RÍO PARAGUAY,» 2020.
- [15] Guevara-Segura, Artist, *Modelación hidrológica e hidráulica para determinar las crecidas en el Río Gera en la Provincia de Moyobamba, 2015.[Tesis para optar el grado de Ingeniero Sanitario. Facultad de Ecología, Universidad Nacional de San Martín].* [Art]. 2018.
- [16] F. V. Esparza Alvarez, Artist, *Estudio de socavación del cauce en el río Chicama a 2 km aguas abajo del puente carega - Chicama - ascope - la libertad [tesis para título de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego].* [Art]. 2019.
- [17] R. B. Ramos Alonzo y M. E. Alva Huayaney, Artists, *Análisis geomorfológico y dinámica fluvial del río Huallaga en la localidad de Yurimaguas [tesis para el título de pregrado, .* [Art]. 2020.
- [18] R. A. Becerra Pintado, N. G. Espinoza Requejo, G. G. Arriola Carrasco, L. M. Villegas Granados y G. d. S. Sotomayor Nunura, «VALIDACIÓN DE LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS POR ARRASTRE Y SUSPENSIÓN EMPLEANDO MEDICIONES EN CAMPO,» 2021.
- [19] Manay Mego Jesús Hoyler, «Modelación del flujo a superficie libre en el canal Taymi km 33+000 al km 38+000, Lambayeque,» Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2019.
- [20] Chapoñan Tineo y Jeffrey Jared, «Modelamiento hidráulico para el diseño de defensa ribereña en el río Rímac, sector Batasol, distrito de Lurigancho-Chosica, Lima, 2019[tesis para el título de pregrado, Universidad Cesar Vallejo],» 2019.
- [21] L. J. W. Graham, J. Wu, G. Short, C. B. Solnordal, G. Brown, O. Celliers y D. Whyte, «Laboratory modelling of erosion damage by vortices in slurry flow,» *Hydrometallurgy*, vol. 170, nº 1, pp. 43-50, 2017.
- [22] R. Beaumont, F. Kwasniok y J. Thuburn, «Vortex erosion in a shallow water model of the polar vortex,» *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, vol. 78, nº 1, pp. 137-151, 2017.
- [23] B. Eckhardt, «Turbulence Transition in Shear Flows: Chaos in High-Dimensional Spaces,» *Procedia IUTAM*, pp. 165-168, 2015.

- [24] F. Lachaussée, Y. Bertho, C. Morize, A. Sauret y P. Gondret, «Erosion patterns on a granular bed around a vertical cylinder,» *Powders & Grains*, vol. 140, nº 09008, pp. 1-3, 2017.
- [25] S. Chitrakar, O. Gunnar y H. Prasad Neopane, «Numerical investigation of the effect of leakage flow through erosion-induced clearance gaps of guide vanes on the performance of Francis of guide vanes on the performance of Francis,» *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, vol. 12, nº 1, pp. 662-678, 2018.
- [26] J. Ramirez Muñoz, D. Garcia Cortez, J. Colin Luna y C. R. Tapia Medina, «Efecto de la Evolución del Vórtice sobre los Parámetros Hidrodinámicos de un Sistema de Dispersión Mecánica de Pigmentos,» *Información tecnológica*, vol. 27, nº 4, pp. 145-154, 2016.
- [27] A. Lopez Llaunusa, V. Elena Parnás y J. C. Cataldo Ottiori, «Modelación de capa límite atmosférica para estudios de paneles solares en túnel de viento,» *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. 38, nº 3, pp. 52-64, Diciembre 2017.
- [28] A. Cordoba Cervantes, A. M. Da Silva y K. Guzman Arias, «Cuantificación del Transporte de Sedimentos en el río La Estrella, Limón, Costa Rica,» *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 29, nº 4, pp. 86-100, 2016.
- [29] S. Cataño Alvarez y J. I. Vélez Upegui, «Aggregated conceptual model of sediment transport for mountain basins in Antioquia- Colombia,» *Boletín de Ciencias de la Tierra*, vol. 39, pp. 38-48, 2016.
- [30] A. Higgins, J. C. Restrepo, L. J. Otero, J. C. Ortiz y M. Conde, «Distribución vertical de sedimentos en suspensión en la zona de desembocadura del Río Magdalena,» *Latin american journal of aquatic research*, vol. 25, nº 4, pp. 724-736, 2017.
- [31] F. Urcadiz Cazares y A. Ortega Rubio, «Clasificación de unidades del fondo marino a partir de la distribución espacial de los sedimentos superficiales de la Bahía de La Paz, Golfo de California,» *Hidrobiológica*, vol. 27, nº 3, pp. 399-409, 2017.
- [32] C. J. Fernandez de Cordova, D. A. J. F. Leon Mendez, D. Y. Rodriguez Lopez, P. G. Martinez Ramirez y D. M. Meneses Meneses, «Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning para cauces naturales,» *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. 39, pp. 17-31, 2018.
- [33] O. Escolero, S. Kralisch, S. E. Martinez y M. Perevochtchikona, «Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México, México,» *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, vol. 68, nº 3, pp. 409-427, 2016.
- [34] A. Quesada Román y G. Barrantes Castilla, «Modelo morfométrico para determinar áreas susceptibles a procesos de ladera,» *Investigaciones geográficas*, nº 94, 2017.

- [35] R. dos Santos Peixoto, P. C. Colonna Rosman y S. Beatriz Vinzon, «A morphodynamic model for cohesive sediments transport,» *Brazilian Journal of Water Resources*, vol. 22, nº 57, pp. 1-13, 23 Agosto 2017.
- [36] L. F. Cordova Lopez, K. Hernandez Valdez y H. Benitez Cistiá, «Modelación matemática de procesos morfológicos en playas con rompeolas sumergidos,» *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. 38, nº 1, pp. 59-71, 2017.
- [37] W. Méndez, J. Córdova y L. Bravi de Guenni, «Predictive models of instantaneous maximum discharges for catchments of mountainous environments, supported by morphometric parameters,» *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, vol. 388, nº 3, pp. 223-238, 2015.
- [38] A. Marcano, «Metodología para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa,» *Revista de Investigación*, vol. 40, nº 87, pp. 155-180, 2016.
- [39] S. M. E. G. M. A. H. F. A.-E. & A. T. H. Omara, «Hydromorphological Numerical Model of the Local Scour Process Around Bridge Piers,» *Arabian Journal for Science and Engineering*, p. 44, 2018.
- [40] D. Meza Rodriguez, L. M. Martinez Rivera, J. L. Olguin Lopez y A. Aguirre Garcia, «Simulation of physical habitat in Ayuquila-Armeria river in the west of Mexico,» *Ciencia e Ingenieria neogranadina*, vol. 29, nº 2, pp. 53-68, 2019.
- [41] C. P. Múnera Mesa, «Análisis comparativo de los modelos HEC-RAS, CCHE2D, G-STARS y BRI-STARS para la modelación hidráulico-morfológica en un cauce aluvial,» Colombia, 2020.
- [42] L. M. Agudelo Otarola, W. D. Moscoso Barrera y C. Paipa Galeano, «Comparación de modelos físicos y de inteligencia artificial para predicción de niveles de inundación,» *Tecnología y ciencias del agua*, vol. 9, nº 4, pp. 209-235, 24 Noviembre 2020.
- [43] A. Hernandez Cruz, «Protección marginal con espigones, simulación numérica 1D,» *Tecnología y ciencias del agua*, vol. 11, nº 1, pp. 342-374, 30 Mayo 2020.
- [44] Universidad Señor de Sipan, Código de ética en investigación de la universidad señor de sipan, 2023, 26 de abril.
- [45] J. D. Angeles Vasquez, Artist, *Modelamiento Hidrodinámico del Flujo y Transporte de Sedimentos para la Evaluación del Riesgo de Erosión del Pilar del Puente Reque [Tesis para optar el título profesional] universidad Señor de Sipan. [Art]. repositorio uss*, 2023.
- [46] GERENCIA DE DESARROLLO TINAJONES PLAN PREVENCIÓN DEL RÍO REQUE, TRAMO BOCATOMA MONSEFÚ-REQUE AL MAR, «HIDROLOGÍA DE MÁXIMAS AVENIDAS,» 13


11 2023. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/406625522/Maximas-Avenidas-Rio-Reque>.

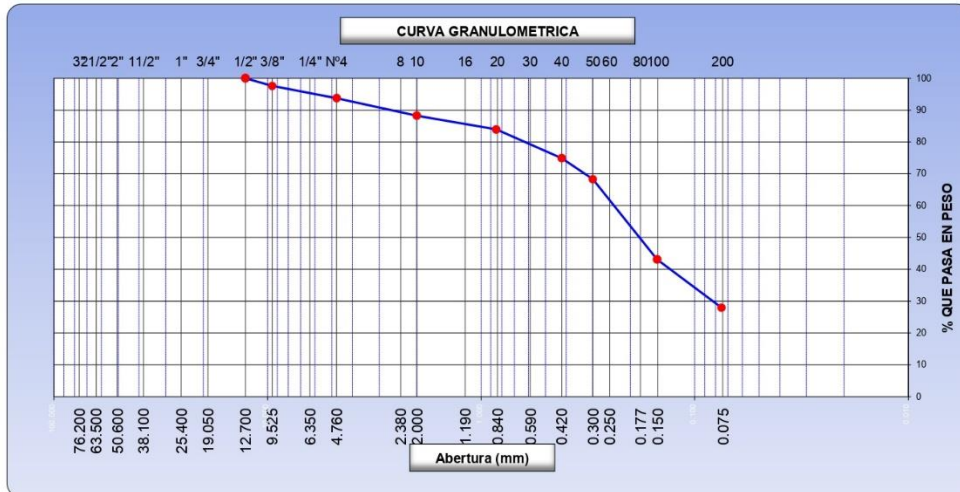
- [47] H. E. Tejada Espinoza, Artist, *Estudio Hidrologico de maximas avenidas de la subcuentas Juanas Rios-cuenca chancay lambayeque (tesis para obter el titulo de ing agricola)*. [Art]. Universidad Pedro Ruiz Gallo, 2014.
- [48] . N. VILLASECA ALÍ, Artist, *MODELOS DE ANÁLISIS LOCAL EN LOSAS DE PUENTES [PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL]*. [Art]. UNIVERSIDAD RICARDO PALMA, 2019.
- [49] G. G. Arriola Carrasco, L. M. Bejarano Trujillo, J. d. C. Arbulú Ramos, O. Coronado Zuloeta y G. d. S. SotomayorNunura, Artists, *INFLUENCIA DEL PROCESO DE ACORAZAMIENTO EN LA SOCAVACIÓN DE LOS PILARES DEL PUENTE REQUE*. [Art]. Repositorio institucional USS, 2017.
- [50] G. G. Arriola Carrasco y L. M. Bejarano Trujillo, Artists, *ESTUDIO DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS BASADOS EN LA SUPERPOSICIÓN DE LOS COMPONENTES DE SOCAVACIÓN PARA PILARES COMPLEJOS APLICADOS AL PUENTE REQUE*. [Art]. 2015.

ANEXOS: Informes De Ensayos Del Laboratorio & Panel Fotográfico.

Anexo 1

Informes De Ensayos Del Laboratorio, Según El Análisis Granulométrico M-01; M-02, M-03, M-04, M-05

		SERVICIOS DE EXPLORACIÓN GEOTECNICA, ASFALTO Y ENSAYO DE MATERIALES Ca. BRITALDO GONZALES N° 183 – PUEBLO NUEVO - FERREÑAFE RESOLUCION N° 001083-2009/DSD-INDECOPI Email: leonidasmvas@hotmail.com RPM #947009877 TELEF. 074-456484 CODIGO OSCE N° 50090112 LABORATORIO SEGENMA					
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E-107 / ASTM D-422, C-117 / AASHTO T-27, T-88)							
PROYECTO	: “Aplicación del Modelo Matemático Hidromorfodinámico TEDRI-1D7C como Herramienta en la prevención de Efectos Hidráulicos en los Cimientos del Puente Reque”.						
UBICACIÓN	: DISTRITO. REQUE PROVINCIA. CHICLAYO DEPARTAMENTO. LAMBAYEQUE						
Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Porcentaje que Pasa	Material sin Especificacion	Descripcion
5"	127.000						1. Peso de Material
4"	101.600						Peso Inicial Total (kg) <u>260.33</u>
3"	73.000						Peso Fraccion Fina Para Lavar (gr) <u>260.33</u>
2 1/2"	60.300						2. Características
2"	50.800						Tamaño Maximo <u>3/8"</u>
1 1/2"	37.500						Tamaño Maximo Nominal <u>3/8"</u>
1"	25.400						Grava (%) <u>6.2</u>
3/4"	19.000						Arena (%) <u>65.8</u>
1/2"	12.700				100.0		Finos (%) <u>28.0</u>
3/8"	9.520	6.23	2.39	2.39	97.61		Modulo de Fineza (%)
1/4"	6.350						3. Clasificacion
N° 4	4.750	10.02	3.85	6.24	93.76		Limite Liquido (%) <u>20.0</u>
N° 8	2.360						Limite Plastico (%) <u>17.5</u>
N° 10	2.000	15.26	5.50	11.74	88.26		Indice de Plasticidad (%) <u>2.5</u>
N° 16	1.190						Clasificacion SUCS <u>SM</u>
N° 20	0.850	12.03	4.33	16.07	83.93		Clasificacion AASHTO <u>A-2-4 (0)</u>
N° 30	0.600						
N° 40	0.420	25.03	9.01	25.08	74.92		
N° 50	0.300	18.32	6.60	31.68	68.32		
N° 60	0.250						
N° 80	0.180						
N° 100	0.150	70.02	25.22	56.90	43.10		
N° 200	0.075	42.03	15.14	72.04	27.96		
Pasante		77.6	28.0	100.0			



Observación:



**SERVICIOS DE EXPLORACIÓN GEOTECNICA, ASPALTO
Y ENSAYO DE MATERIALES**

Ca. BRITALDO GONZALES N° 183 – PUEBLO NUEVO – FERREÑAFE

RESOLUCION N° 001083-2009/DSD-INDECOPI

Email: leonidasmvas@hotmail.com RPM #947009877 TELEF. 074-456484

CODIGO OSCE N° 50090112

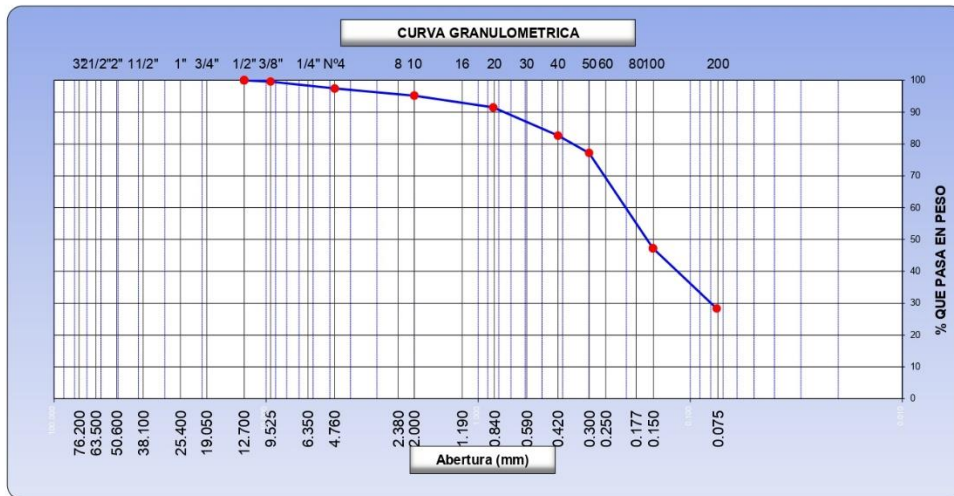
LABORATORIO SEGENHA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(MTC E-107 / ASTM D-422, C-117 / AASHTO T-27, T-88)

PROYECTO : "Aplicación del Modelo Matemático Hidromorfodinámico TEDRI-1D7C como Herramienta en la prevención de Efectos Hidráulicos en los Cimientos del Puente Reque".

UBICACIÓN : DISTRITO. REQUE PROVINCIA. CHICLAYO DEPARTAMENTO. LAMBAYEQUE

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Porcentaje que Pasa	Material sin Especificación	Descripción
5"	127.000						1. Peso de Material
4"	101.600						Peso Inicial Total (kg) <u>353.62</u>
3"	73.000						Peso Fracción Fina Para Lavar (gr) <u>353.62</u>
2 1/2"	60.300						
2"	50.800						2. Características
1 1/2"	37.500						Tamaño Máximo <u>3/8"</u>
1"	25.400						Tamaño Máximo Nominal <u>3/8"</u>
3/4"	19.000						Grava (%) <u>2.5</u>
1/2"	12.700				100.0		Arena (%) <u>69.1</u>
3/8"	9.520	1.31	0.37	0.37	99.63		Finos (%) <u>28.3</u>
1/4"	6.350						Modulo de Fineza (%)
N° 4	4.750	7.64	2.16	2.53	97.47		
N° 8	2.360						3. Clasificación
N° 10	2.000	8.22	2.27	4.80	95.20		Limite Liquido (%) <u>20.0</u>
N° 16	1.190						Limite Plastico (%) <u>18.2</u>
N° 20	0.850	13.42	3.70	8.50	91.50		Indice de Plasticidad (%) <u>1.8</u>
N° 30	0.600						Clasificación SUCS <u>SM</u>
N° 40	0.420	32.05	8.83	17.33	82.67		Clasificación AASHTO <u>A-2-4 (0)</u>
N° 50	0.300	19.87	5.48	22.81	77.19		
N° 60	0.250						
N° 80	0.180						
N° 100	0.150	108.60	29.93	52.74	47.26		
N° 200	0.075	68.65	18.92	71.66	28.34		
Pasante		102.8	28.3	100.0			



Observación:



**SERVICIOS DE EXPLORACIÓN GEOTECNICA, ASPALTO
Y ENSAYO DE MATERIALES**

Ca. BRITALDO GONZALES N° 183 – PUEBLO NUEVO – FERREÑAFE

RESOLUCION N° 001083-2009/DSD-INDECOPI

Email: leonidasmvas@hotmail.com RPM #947009877 TELEF. 074-456484

CODIGO OSCE N° 50090112

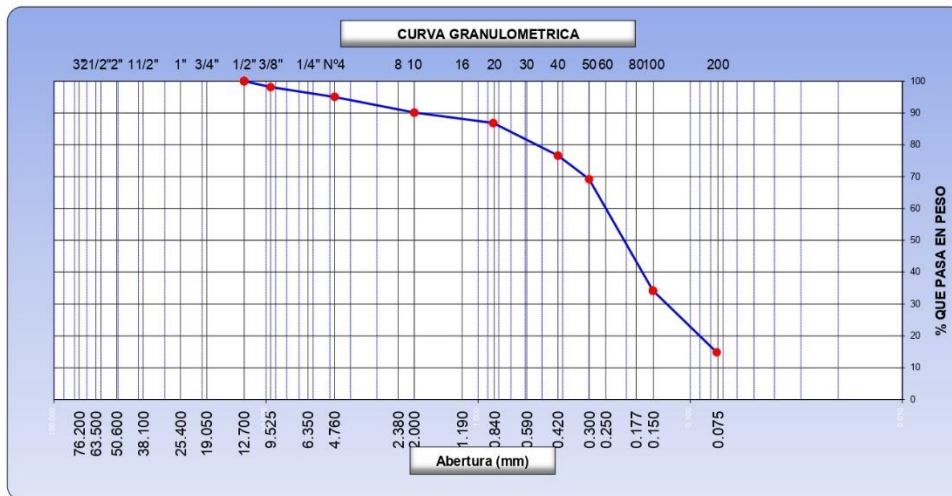
LABORATORIO SEGENHA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(MTC E-107 / ASTM D-422, C-117 / AASHTO T-27, T-88)

PROYECTO : "Aplicación del Modelo Matemático Hidromorfodinámico TEDRI-1D7C como Herramienta en la prevención de Efectos Hidráulicos en los Cimientos del Puente Reque".

UBICACIÓN : DISTRITO. REQUE PROVINCIA. CHICLAYO DEPARTAMENTO. LAMBAYEQUE

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Porcentaje que Pasa	Material sin Especificación	Descripción
5"	127.000						1. Peso de Material
4"	101.600						Peso Inicial Total (kg) <u>269.80</u>
3"	73.000						Peso Fracción Fina Para Lavar (gr) <u>269.80</u>
2 1/2"	60.300						2. Características
2"	50.800						Tamaño Máximo <u>3/8"</u>
1 1/2"	37.500						Tamaño Máximo Nominal <u>3/8"</u>
1"	25.400						Grava (%) <u>5.0</u>
3/4"	19.000						Arena (%) <u>80.2</u>
1/2"	12.700				100.0		Finos (%) <u>14.9</u>
3/8"	9.520	5.02	1.86	1.86	98.14		Modulo de Fineza (%)
1/4"	6.350						3. Clasificación
N° 4	4.750	8.36	3.10	4.96	95.04		Limite Líquido (%) <u>19.6</u>
N° 8	2.360						Limite Plástico (%) <u>17.6</u>
N° 10	2.000	14.03	4.94	9.90	90.10		Indice de Plasticidad (%) <u>2.0</u>
N° 16	1.190						Clasificación SUCS <u>SM</u>
N° 20	0.850	9.23	3.25	13.15	86.85		Clasificación AASHTO <u>A-2-4 (0)</u>
N° 30	0.600						
N° 40	0.420	29.03	10.23	23.38	76.62		
N° 50	0.300	21.02	7.40	30.78	69.22		
N° 60	0.250						
N° 80	0.180						
N° 100	0.150	99.32	34.99	65.77	34.23		
N° 200	0.075	55.03	19.38	85.15	14.85		
Pasante		42.1	14.8	100.0			



Observación:



**SERVICIOS DE EXPLORACIÓN GEOTECNICA, ASPHALTO
Y ENSAYO DE MATERIALES**

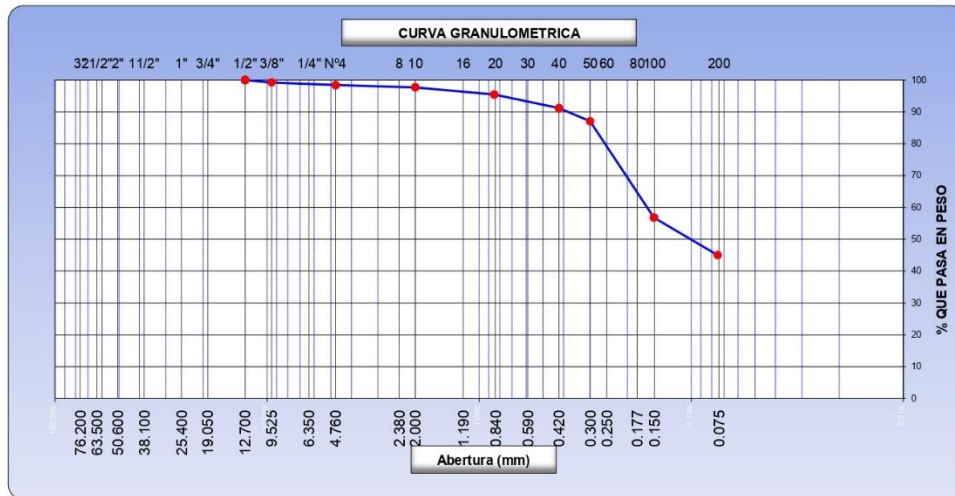
Ca. BRITALDO GONZALES N° 183 – PUEBLO NUEVO – FERREÑAFE
RESOLUCION N° 001083-2009/DSD-INDECOPI
Email: leonidasmvas@hotmail.com RPM #947009877 TELEF. 074-456484
CODIGO OSCE N° 50090112
LABORATORIO SEGENMA

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
(MTC E-107 / ASTM D-422, C-117 / AASHTO T-27, T-88)

PROYECTO : "Aplicación del Modelo Matemático Hidromorfodinámico TEDRI-1D7C como Herramienta en la prevención de Efectos Hidráulicos en los Cimientos del Puente Reque".

UBICACIÓN : DISTRITO. REQUE PROVINCIA. CHICLAYO DEPARTAMENTO. LAMBAYEQUE

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Porcentaje que Pasa	Material sin Especificacion	Descripcion
5"	127.000						1. Peso de Material
4"	101.600						Peso Inicial Total (kg) 300.00
3"	73.000						Peso Fraccion Fina Para Lavar (gr) 300.00
2 1/2"	60.300						2. Características
2"	50.800						Tamaño Maximo 3/8"
1 1/2"	37.500						Tamaño Maximo Nominal 3/8"
1"	25.400						Grava (%) 1.6
3/4"	19.000						Arena (%) 53.4
1/2"	12.700				100.0		Finos (%) 45.0
3/8"	9.520	2.27	0.76	0.76	99.24		Modulo de Fineza (%)
1/4"	6.350						3. Clasificación
N° 4	4.750	2.36	0.79	1.55	98.45		Limite Liquido (%) 26.1
N° 8	2.360						Limite Plastico (%) 20.6
N° 10	2.000	2.29	0.75	2.30	97.70		Indice de Plasticidad (%) 5.5
N° 16	1.190						Clasificación SUCS SM-SC
N° 20	0.850	6.84	2.24	4.54	95.46		Clasificación AASHTO A-4 (2)
N° 30	0.600						
N° 40	0.420	13.04	4.28	8.82	91.18		
N° 50	0.300	12.55	4.12	12.94	87.06		
N° 60	0.250						
N° 80	0.180						
N° 100	0.150	92.05	30.21	43.15	56.85		
N° 200	0.075	36.09	11.84	54.99	45.01		
Pasante		137.1	45.0	100.0			



Observación:



**SERVICIOS DE EXPLORACIÓN GEOTECNICA, ASPALTO
Y ENSAYO DE MATERIALES**

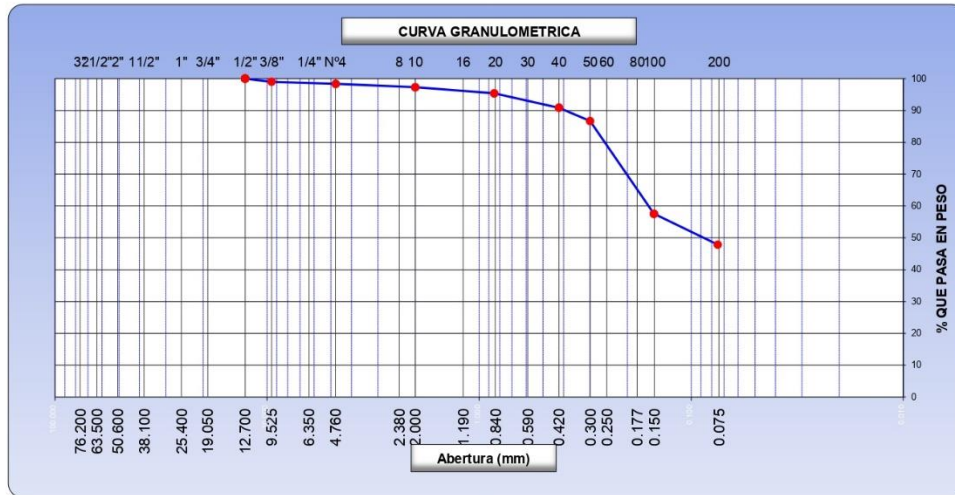
Ca. BRITALDO GONZALES N° 183 – PUEBLO NUEVO – FERREÑAFE
RESOLUCION N° 001083-2009/DSD-INDECOPI
Email: leonidasmvas@hotmail.com RPM #947009877 TELEF. 074-456484
CODIGO OSCE N° 50090112
LABORATORIO SEGENHA

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
(MTC E-107 / ASTM D-422, C-117 / AASHTO T-27, T-88)

PROYECTO : "Aplicación del Modelo Matemático Hidromorfodinámico TEDRI-1D7C como Herramienta en la prevención de Efectos Hidráulicos en los Cimientos del Puente Reque".

UBICACIÓN : DISTRITO. REQUE PROVINCIA. CHICLAYO DEPARTAMENTO. LAMBAYEQUE

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Porcentaje que Pasa	Material sin Especificacion	Descripcion
5"	127.000						1. Peso de Material
4"	101.600						Peso Inicial Total (kg) 305.00
3"	73.000						Peso Fraccion Fina Para Lavar (gr) 305.00
2 1/2"	60.300						
2"	50.800						2. Características
1 1/2"	37.500						Tamaño Maximo 3/8"
1"	25.400						Tamaño Maximo Nominal 3/8"
3/4"	19.000						Grava (%) 1.7
1/2"	12.700				100.0		Arena (%) 50.5
3/8"	9.520	3.02	0.99	0.99	99.01		Finos (%) 47.9
1/4"	6.350						Modulo de Fineza (%)
N° 4	4.750	2.01	0.66	1.65	98.35		
N° 8	2.360						3. Clasificación
N° 10	2.000	3.21	1.04	2.69	97.31		Limite Liquido (%) 25.8
N° 16	1.190						Limite Plastico (%) 20.6
N° 20	0.850	6.03	1.94	4.63	95.37		Indice de Plasticidad (%) 5.2
N° 30	0.600						Clasificación SUCS SM-SC
N° 40	0.420	14.02	4.52	9.15	90.85		Clasificación AASHTO A-4 (3)
N° 50	0.300	12.89	4.16	13.31	86.69		
N° 60	0.250						
N° 80	0.180						
N° 100	0.150	90.33	29.13	42.44	57.56		
N° 200	0.075	30.02	9.68	52.12	47.88		
Pasante		148.5	47.9	100.0			



Observación:

PANEL FOTOGRAFICO

Fotografía 01: Reconocimiento de campo y generación de plan de vuelo.



Fotografía 02: Identificación de puntos críticos y prueba del vuelo de la aeronave remotamente tripulada (drone).



Fotografía 03: Vuelo de aeronave remotamente tripulada (Drone), aguas arriba del puente Reque.



Fotografía 04: Incorporación de muestras para el secado.



Fotografía 05: Secado de muestras obtenidas en campo.



Fotografía 06: Ensayo granulométrico.

