

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**



**TESIS**

**“ESTUDIO DE ZONAS INUNDABLES POR AVENIDAS MAXIMAS DEL RÍO  
CHILCO, EN EL DISTRITO DE SAN PEDRO DE LLOC, PROVINCIA DE  
PACASMAYO, REGIÓN LA LIBERTAD”**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO HIDRAULICO**

PRESENTADO POR:

**Bach. Rivasplata Jara Julio Andres**

ASESOR:

**Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez**

**CAJAMARCA – PERÚ**

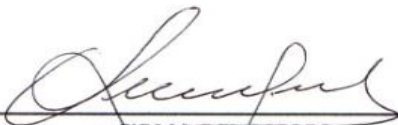

**2024**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### *– FACULTAD DE INGENIERÍA –*

- Investigador:** Rivasplata Jara Julio Andres  
**DNI:** 71330068  
**Escuela Profesional:** Ingeniería Hidráulica
- Asesor:** Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez  
**Facultad:** Ingeniería
- Grado académico o título profesional**  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
- Tipo de Investigación:**  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**  
“ESTUDIO DE ZONAS INUNDABLES POR AVENIDAS MAXIMAS DEL RÍO CHILCO, EN EL DISTRITO DE SAN PEDRO DE LLOC, PROVINCIA DE PACASMAYO, REGIÓN LA LIBERTAD”
- Fecha de evaluación:** 22/09/2024
- Software antiplagio:**       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 22%
- Código Documento:** oid: 3117:384326335
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**  
 APROBADO       PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

*Fecha Emisión: 23/09/2024*

 FIRMA DEL ASESOR Nombres y Apellidos: DR. LUIS ANDRES LEON CHAVEZ DNI: 76613354	 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI
--	--

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, por brindarme sus bendiciones y resiliencia*

*en el transcurrir de mis años de aprendizaje.*

*A mis queridos padres, Andres Alejandro y*

*Patricia Roxana, por su apoyo incondicional*

*en cada paso de mi formación profesional y personal.*

*A mi novia Lorena Burgos por no soltar mi mano*

*en todo este camino de mi formación universitaria.*

*A mi asesor Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez,*

*por brindarme su apoyo, consejos y parte de sus*

*amplios conocimientos, que me permitió*

*elaborar esta investigación.*

## **DEDICATORIA**

*A mis Padres, por enseñarme buenos valores desde mi infancia, enseñándome a no rendirme y dar lo mejor de mí, en el transcurrir de mi vida.*

*A mis hermanos, por motivarme indirectamente a ser mejor cada día, para poder así brindarles un buen ejemplo.*

## INDICE

	PAG
AGRADECIMIENTO.....	i
DEDICATORIA .....	ii
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT .....	vii
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2 Formulación del problema .....	2
1.3 Justificación de la investigación .....	2
1.4 Alcances o delimitación de la investigación .....	3
1.6 Objetivos .....	4
1.6.1 General .....	4
1.6.2 Específicos.....	4
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
2.1.1 NACIONALES.....	5
2.1.2 INTERNACIONALES .....	5
2.2. BASES TEÓRICAS.....	6
2.2.1. TOPOGRAFÍA.....	7
2.2.2. HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA .....	9
2.2.3 MODELAMIENTO HIDROLOGICO .....	22
2.2.4 MODELAMIENTO HIDRÁULICO .....	33
CAPITULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
3.1. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.....	41
3.2. RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	44
CAPITULO 4: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	53
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	71
5.1 CONCLUSIONES .....	71
5.2 RECOMENDACIONES .....	74
CAPITULO 6: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
CAPITULO 7: ANEXOS.....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

	PAG
Figura N°1 Curva de caudales clasificados (izquierda) y características de un hidrograma (derecha).....	10
Figura N°2 Intervalos de pendiente .....	13
Figura N°3: Clasificación Morfológica de los Ríos.....	15
Figura N°4: Clasificación de los Ríos por sus grados de libertad .....	16
Figura N°5: Ilustración del concepto de caudal dominante. A la derecha gráfico de variación de la tensión tangencial en función del caudal circulante. ....	18
Figura N°6. Cauce colgado con dos albardones o motas naturales. ....	19
Figura N°7: Depósitos de acreción vertical y lateral en una llanura de inundación.....	20
Figura N°8: Intervalo de tiempos para los fenómenos del niño en el Perú.....	22
Figura N°9: Hidrograma Unitario Triangular del SCS. ....	28
Figura N°10: Tramo de un cauce para la deducción de las ecuaciones de Saint-Venat. ....	37
Figura N°11: Ubicación geográfica de la cuenca del Río Chilco.....	41
Figura.N°12: Vista frontal del Pontón del KM 662 + 072.....	42
Figura N°13: Ruta de acceso desde la Trujillo hasta la localidad de Quebrada Cupisnique. Fuente: Google Maps.....	43
Figura N°14: Zona de estudio con problema de inundación.....	43
Figura.N°15: Visita de Campo a la zona de estudio .....	45
Figura.N°16: Levantamiento topográfico del Rio chilco.....	46
Figura N°17: Río Chilco – zona de estudio.....	47
Figura N°18: Mapa de estaciones meteorológicas.....	48
Figura N°19: Delimitación de la Cuenca del Rio Chilco.....	55
Figura N°20: Curva Hipsométrica de la Cuenca del Rio Chilco.....	56
Figura N°21: Polígonos de Thiessen.....	58
Figura N°22: Grafico para el hietograma de diseño .....	59
Figura N°23: Hidrograma generado por el software Hec-HMS.....	60
Figura. N°24: Asignación de rugosidad para la malla en HEC RAS .....	61
Figura. N°25: Asignación de rugosidad para la malla en IBER.....	62
Figura. N°26: Perfil en 2D del pontón – HEC RAS .....	63
Figura. N°27: Perfil en 2D de las alcantarillas elipsoidales – HEC RAS.....	63
Figura. N°28: Vista en planta del modelamiento en 2D con visualización de líneas de flujo – HEC RAS.....	63
Figura N°29: Vista en 3D de las estructuras hidráulicas - IBER.....	64
Figura N°30: Tirantes y emplazamiento de la inundación en HEC RAS .....	64
Figura N°31: Tirantes y emplazamiento de la inundación en IBER.....	65
Figura N°32: Velocidades en la inundación en IBER .....	66
Figura N°33: Velocidades en la inundación en HEC RAS .....	66
Figura N°34: Tirantes obtenido para el evento del año 2017.....	67
Figura N°35: Velocidades obtenidas para el evento del año 2017. ....	67
Figura N°36: Hidrograma de entrada para la modelación Hidráulica .....	68
Figura N°37: Hidrograma de Salida en la modelación Hidráulica - Iber.....	68
Figura N°38: Hidrograma de Salida en la modelación Hidráulica – HEC RAS .....	69

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla N° 01 Clasificación de partículas de acuerdo a la American Geophysical Unión (A.G.U.) (Escala de Wentworth) .....	17
Tabla N° 02 Parámetros morfométricos de una cuenca. ....	24
Tabla N° 03 Valores numéricos de escorrentía para regiones urbanas y suburbanas. ....	29
Tabla N° 04 Valores numéricos de escorrentía para regiones rurales.....	30
Tabla N° 05 Condiciones de humedad antecedentes.....	31
Tabla N°6 Rugosidad de Manning .....	40
Tabla N° 07 Ubicación del Pontón.....	42
Tabla N° 08 Ubicación e ingreso a la zona de estudio. ....	43
Tabla N° 09 Estación Pluviométrica. ....	50
Tabla N° 10 Parámetros geomorfológicos de la cuenca hidrográfica .....	55
Tabla N° 11 Precipitación máxima de 24 horas, año 2017.....	57
Tabla N° 12 Intensidades para un periodo de 2 horas .....	58
Tabla N° 13 Elaboración del hietograma de diseño .....	59
Tabla N° 14 Selección de rugosidad de Manning .....	61

## RESUMEN

Frente a la problemática que la ciudad de San Pedro de Lloc se encuentra expuesta frente a eventos extraordinarios de precipitaciones máximas (Fenómeno del Niño), el objetivo de esta tesis es identificar las zonas de inundación registradas en el último evento (2017). Para este estudio se realizó procesamiento de información Cartográfico y análisis geomorfológico de la cuenca del Rio chilco, teniendo en cuenta como punto de emisión el pontón ubicado en el Km 662+072 de la carretera Panamericana Norte; se procesó la data del 2017, obtenida de las estaciones cercanas a la zona de estudio (La talla y Casa Grande), para el modelamiento hidrológico se utilizó el software HEC-HMS obteniendo un caudal pico de  $1771.7 \text{ m}^3/\text{s}$ . Para el modelamiento hidráulico se utilizó los softwares HEC RAS e IBER, obteniendo resultados de inundación similares a la huella hídrica que se tuvo registro mediante fuentes fotográficas y sustento de pobladores de la zona.

**Palabras claves:** inundación, caudal, modelamiento hidráulico.



## ABSTRACT

Faced with the problem that the city of San Pedro de Lloc is exposed to during extraordinary events of maximum rainfall (El Niño phenomenon), the objective of this thesis is to identify the flood zones recorded in the last event (2017). For this study, cartographic information processing and geomorphological analysis of the Chilco River basin were carried out, taking into account the pontoon located at Km 662+072 of the Pan-American Highway North as the emission point; the data from 2017 was processed, obtained from the stations near the study area (La Talla and Casa Grande), for hydrological modeling the HEC-HMS software was used, obtaining a peak flow of 1771.7 m<sup>3</sup>/s. For hydraulic modeling, the HEC RAS and IBER software were used, obtaining flood results similar to the water footprint that was recorded through photographic sources and support of residents of the area.

**Keywords:** flood, flow, hydraulic modeling.

# CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

## 1.1 Planteamiento del problema

Las inundaciones son un fenómeno que afecta las diferentes regiones de nuestro Perú, siendo evidenciado estos sucesos a través de los años, con pérdidas materiales y humanas, que han sido reportado por los diferentes medios de comunicación y fuentes confiables como INDECI, SIGRID, CENEPRED, entre otras. Justificando así la falta de implementación de estrategias y estudios que eviten o disminuyan el impacto de este fenómeno, que son causados por precipitaciones altas y la acumulación de materiales de arrastre.

San Pedro de Lloc se encuentra dentro de la cuenca del valle de Jequetepeque, por donde se extiende el Río Chilco, que cuenta con un caudal muy variable durante los meses de febrero a abril con precipitaciones altas y muy variables, generando así enormes caudales que producen el desbordamiento del Río Chilco, viéndose afectada esta ciudad con grandes pérdidas materiales dentro de ella y pérdidas agrícolas a su alrededor.

Un reciente estudio geológico realizado por el INGEMMET describe la zona como de alto peligro debido a sus condiciones litológicas, geomorfológicas y geodinámicas. Esto está relacionado con el Fenómeno de El Niño Costero, que es el factor desencadenante que provocó las inundaciones que ya se han reportado en esta ciudad. Habiendo vivenciado los efectos de este fenómeno y los perjuicios que trae consigo, ha sido motivo para realizar un estudio de investigación que comprenda el modelamiento hidráulico del río Chilco en máximas avenidas, identificando las zonas de inundación, para poder establecer medidas de prevención, para la ciudad de San Pedro De Lloc.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cuánto de área de terreno fue afectada de inundación, por desbordamiento del Rio Chilco, ante el caudal de máxima avenida del año 2017, en la ciudad de San Pedro De Lloc, provincia de Pacasmayo, región la Libertad?

## **1.3 Justificación de la investigación**

Políticamente hablando, la ciudad de San Pedro de Lloc está situada al noroeste del departamento de La Libertad, en la parte sur de la provincia de Pacasmayo, y tiene una altitud media de 43 metros sobre el nivel del mar. (Sigrid,2017). Cuenta con una población de 17,637 ciudadanos, con un 75.7% de viviendas de Adobe o tapia, que facilitan a estas máximas avenidas la destrucción y la acumulación de los materiales de arrastre. (Inei,2017)

La ciudad de San Pedro de Lloc ha experimentado un aumento de población en los últimos años, desarrollando zonas pobladas y agrícolas, cercanas a los márgenes del rio Chilco. Estos factores se pusieron de manifiesto durante las últimas inundaciones provocadas por El Niño en 2017, que mostraron daños materiales en comparación a los eventos ocurridos en 1998 y 1983 , es por ello que se pretende identificar las zonas de inundación del ultimo evento registrado en el distrito de San Pedro de Lloc, realizando un análisis Hidrológico de la cuenca del Chilco ,teniendo en cuenta la data del año 2017 siendo el ultimo evento registrado , a la vez un modelamiento Hidráulico, recreando la huella hídrica del evento extraordinario , con el fin de establecer un principio preventivo y de alerta ante circunstancias inusuales de crecidas máximas.

#### **1.4 Alcances o delimitación de la investigación**

Este estudio de campo y experimental, pretende realizar un modelamiento hidráulico en un tramo estratégico de 1079.4 metros del Rio Chilco, mediante los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER, con el fin de comparar resultados y a la vez simular las zonas de inundación por desbordamiento del rio Chilco del ultimo evento registrado (2017), producto de máximas avenidas.

Se tendrá en cuenta la precipitación máxima en 24 horas del año 2017, para poder así simular un caudal pico similar al del evento extraordinario, recreando las áreas inundadas, registradas mediante registro fotográfico y reconocimiento de la zona. Ya que no se cuenta con un registro de huella hídrica formal por parte de las autoridades pertinentes.

El modelamiento hidrológico para la generación del caudal pico se realizará con la ayuda del software HEC HMS; para el modelamiento hidráulico y simulación de las áreas inundadas, se utilizarán los softwares HEC RAS e IBER, donde se tomarán en cuenta detalles reales para una mejor calibración de los programas. Detalles como las medidas reales de las estructuras hidráulicas (Pontón y alcantarilla), que intervienen en el flujo del rio Chilco, teniendo en cuenta que fue un factor detonante para la inundación del año 2017, por la obstrucción por sedimentos y materiales de arrastre de las estructuras en mención; y por último la asignación de rugosidades de las distintas áreas en intervención en el modelamiento.

La secuencia de procedimientos del estudio se encuentra en los siguientes puntos enlistados:

- Recopilación y tratamiento de las precipitaciones máximas en 24 horas, disponibles para 2017.
- Caracterización de la cuenca del Chilco.

- Caracterización del río Chilco
- Modelación Hidrológica (Generación de caudal máximo)
- Creación de las secciones transversales del río, de la cuenca del río Chilco.
- Modelación hidráulica (Emplazamiento de inundación).
- Elaboración de un mapa de inundaciones (evento simulado del año 2017).

## **1.5 Limitaciones**

Para esta investigación, no se ha contado con un registro de huella hídrica formal del ultimo registrado en la ciudad de San Pedro de Lloc.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 General**

- Estimar las zonas de inundación en la ciudad de San Pedro de Lloc, ocasionadas por la máxima avenida del 2017 en el Río Chilco.

### **1.6.2 Específicos**

- Recopilar y procesar información cartográfica y topográfica de la zona de estudio.
- Recopilar y procesar información hidrológica (Precipitaciones máximas diarias), del año 2017.
- Caracterizar el Río Chilco en un tramo estratégico.
- Estimar el caudal de avenida que provocó la inundación en el año 2017 en la zona de estudio.
- Realizar el modelamiento hidráulico, en un tramo estratégico del Río Chilco, mediante los programas HEC-RAS e IBER.
- Elaborar el mapa de las zonas inundadas ante la máxima avenida del Río Chilco del año 2017, en la ciudad de San Pedro de Lloc.
- Proponer soluciones de mejora, con el fin de reducir y prevenir los daños de las inundaciones.

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1.1 NACIONALES**

Según, Ingemet (2023)

El objetivo principal de este estudio fue evaluar y caracterizar los riesgos geológicos en la quebrada Cupisnique de la ciudad de San Pedro de Lloc. El punto de partida fueron las cerca de 600,5 hectáreas de inundación fluvial de la zona examinada, causadas por el Fenómeno del Niño Costero. Las lluvias extraordinarias asociadas al Fenómeno El Niño Costero 2017 son el factor detonante.

Las características geomorfológicas y geodinámicas del terreno lo hacen muy susceptible a las inundaciones durante eventos inusuales de precipitación, como los provocados por El Niño, por eso se ha considerado como una zona de peligro alto.

Según, Cenepred (2017)

El aporte del presente informe es la evaluación del peligro de inundaciones pluviales en el distrito de San Pedro de Lloc. Ello, a través de la investigación y caracterización del impacto inducido por el Fenómeno, El Niño Costero. Señalando que el Departamento de La Libertad experimentó eventos extremos provocados por el Fenómeno del Niño Costero entre los meses de enero a marzo del 2017, incluyendo un incremento de intensidad, duración y/o frecuencia de las precipitaciones pluviales que dieron lugar a inundaciones y otros fenómenos relacionados.

Se determinó que existe un peligro muy alto de inundación pluvial en la zona de afectación, en los asentamientos humanos de Cacique de LLoc y Ontere Giura, los cuales se encuentran ubicados en la ciudad de San Pedro de LLoc. El desborde del río Chilco como consecuencia de las lluvias provocadas por el fenómeno de El Niño costero indicó

un nivel de peligrosidad muy alto en la zona investigada. El monto estimado de daños económicos probables fue de S/. 1 860 000 soles.

### **2.1.2 INTERNACIONALES**

Según, Rincón y Ángeles (2011).

En este estudio, realizado en Venezuela en el año 2011, se desarrolló un análisis del comportamiento hidráulico de la quebrada Atarigua en el cruce con el puente ubicado en la Troncal 7, Municipio Jiménez, Estado Lara, con parámetros de flujo no permanente y permanente con un fondo fijo. Se obtuvo un resultado parecido para flujo estacionario, la simulación de la quebrada con enfoque de un flujo no estacionario mostró una reacción, donde el perfil del agua bordea a un régimen de flujo crítico. Dado que el flujo en esta zona presenta velocidades significativas, el modelo indica que las zonas aguas abajo del puente son las que presentan riesgos de socavación mayores.

Según, Inamhi (2005).

En el 2005, el Proyecto Binacional desarrolló un estudio del río Zarumilla, donde se determinaron los caudales máximos diarios y las precipitaciones máximas en un periodo de 24 horas mediante el análisis de los datos hidrometeorológicos de la estación hidrométrica de La Palma. Utilizando el modelo hidráulico HEC-RAS, se calcularon los caudales para crecidas máximas para varias duraciones de retorno, estableciendo tirantes de inundación desde el canal hasta las ciudades de Huaquillas, Perú y Ecuador. Con los resultados de la metodología aplicable se elaboró el mapa de inundación por desbordamiento del río Zarumilla.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. TOPOGRAFÍA**

#### **TOPOGRAFIA**

El estudio de los objetivos en la superficie terrestre, incluidas sus detalles naturales y formas, artificiales e imaginarios, se conoce como topografía. Esta disciplina o método se encarga de proporcionar una descripción muy detallada de la superficie de un terreno. Va más allá de la mera descripción de la elevación de los campos; también incluye partes para la edición cartográfica y el dibujo, que se encargan de investigar la creación de mapas geográficos. (Castro Moreira & Vélez Gilces, 2017).

#### **LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO**

Encontrar las posiciones relativas de varios puntos dentro de un plano horizontal es el objetivo principal de los levantamientos topográficos utilizados en proyectos de ingeniería. La planimetría es el método utilizado para lograrlo. El segundo objetivo es calcular la altimetría, o diferencia de altura entre distintos puntos con respecto al plano horizontal previamente establecido. Esto se consigue mediante la nivelación recta. Una vez completadas estas dos tareas, se pueden crear planos y mapas utilizando los datos recogidos en un levantamiento topográfico. En consecuencia, es factible hablar de estos términos topográficos:

- a. Planimetría: Es el proceso de proyectar la cadena de piezas poligonales sobre un plano horizontal sin tener en cuenta las diferencias de cota entre ellas.
- b. Altimetría: Se refiere a cualquier plano de comparación o superficie de comparación, como el nivel medio del mar, e investiga las variaciones de elevación de los lugares de la superficie terrestre, proporcionando su posición relativa o absoluta, proyectada sobre un plano vertical.



c. Planialtimetría: Examina las técnicas y protocolos para medir simultáneamente y expresar gráficamente los componentes de las cadenas planimétrica y altimétrica.

El levantamiento topográfico es el proceso de toma de medidas y recopilación de información lo suficientemente relevante para que el paisaje pueda ser representado. (Castro Moreira & Vélez Gilces,2017).

## CARTOGRAFÍA

Por sus vínculos técnicos con la geografía, la cartografía permite representar en mapas la distribución espacial de los recursos naturales en lugares y momentos concretos. La cartografía de los recursos naturales ha estado estrechamente vinculada al desarrollo de tecnologías de estudio e inventario que utilizan la teledetección y los satélites de posicionamiento global. Los expertos pueden encontrar, identificar y representar con eficacia y precisión los recursos naturales en un sentido amplio con la ayuda de ambos.

Hay dos categorías de cartografía pertinentes en el tema. La plani-altimétrica que describe la red de drenaje, los asentamientos, las infraestructuras y la altura del terreno (curvas de nivel) y la cartografía temática que describe diversos aspectos del entorno social y económico, como la marginalidad, la distribución de la renta y la distribución de la población, además del entorno natural, que incluye los suelos, la vegetación y el uso del suelo. (Secretaría De Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología, 2007).

## SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son un conjunto interactivo de subsistemas diseñados para recopilar y organizar datos georreferenciados y ofrecer componentes de juicio que ayuden en la toma de decisiones. Para alcanzar estos objetivos, un SIG requiere la introducción, modificación, análisis y visualización de datos descriptivos y geográficos mediante un ordenador. (Saavedra,1992)

## APLICACIÓN DE LOS SIG PARA LA GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES

La integración organizada de hardware, software, datos geográficos y recursos humanos destinados a la recopilación, archivo, manipulación y análisis de datos referenciados geográficamente se conoce como Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estos datos se utilizan actualmente para crear propuestas de planificación y gestión de los recursos naturales. Consisten en una serie de operaciones realizadas sobre una colección de características pertenecientes a cosas reales con representaciones gráficas que pueden medirse en términos de forma y tamaño en relación con la superficie terrestre. Junto con las cualidades, los SIG también disponen de una base de datos gráfica que está estrechamente conectada a la base de datos descriptiva y contiene datos georreferenciados. En el desarrollo de los SIG se emplean tecnologías de alta capacidad de procesamiento gráfico y alfanumérico con procesos y aplicaciones de captura, almacenamiento, análisis y visualización de la información. (Bosque Sendra, 2000).

### 2.2.2. HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

#### PRECIPITACIÓN

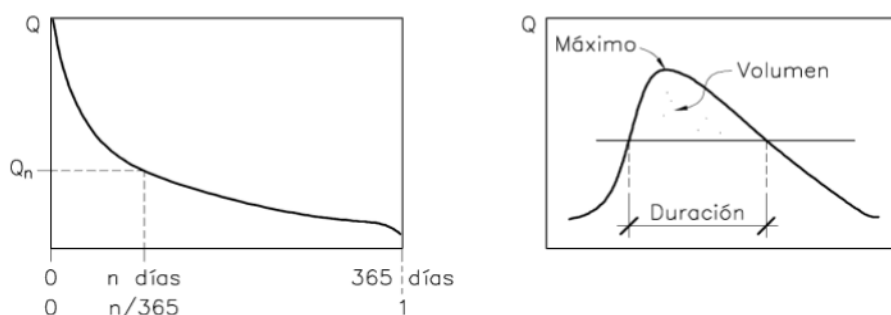
El componente meteorológico más importante en una cuenca hidrográfica es la precipitación. Se denomina así a cualquier humedad que emerge de las nubes en la atmósfera, toca la tierra y forma todas las corrientes superficiales y subsuperficiales: lluvia, nieve, granizo, rocío, niebla y escarcha. La precipitación se produce cuando las

nubes se saturan porque en ellas se desarrollan gotas de agua que descienden a la tierra por efecto de la gravedad. (Aparicio, 1992)

## HIDROLOGIA FLUVIAL

La hidrología fluvial es el estudio del orden en que se producen los caudales ( $Q$ ) de un río. Los términos pluviales, tropical, nival, pluvionival, y monzónico se refieren a las explicaciones de causa para las regularidades. El concepto de que las regularidades pueden investigarse a lo largo de un año está implícito en el estudio de los ríos. Así, podemos caracterizar al sistema hidrológico de un río cualquiera a partir de datos diarios a lo largo de un año, haciéndolo más o menos permanente. Por el contrario, los años con abundancia o escasez de agua son anomalías en una secuencia interanual, que se crea utilizando datos sobre la aportación total realizada cada año. Se construye una curva de caudales clasificados, o frecuencia de caudales, ordenando los caudales medios diarios anuales de mayor a menor; el área de esta curva representa la contribución anual. (Vide, 2009).

**Figura N°1 Curva de caudales clasificados (izquierda) y características de un hidrograma (derecha).**



Fuente: (Vide, 2009).

Además del ciclo anual, los ríos experimentan crecidas excepcionales. Cuando se producen crecidas, el mayor caudal instantáneo es superior a la media diaria equivalente que sería el principal foco de atención. Dado que estos valores tienen significados diferentes y que su inclusión en la curva implicaría que estos caudales deben producirse, son innecesarios para la curva de caudales categorizados. Por el contrario, los valores

instantáneos más altos de cada año crean una secuencia que se examina estadísticamente para determinar la probabilidad de ocurrencia. Si existe una probabilidad  $1/T$  de que se supere un caudal  $Q$  en un año, entonces el caudal tiene un periodo de retorno  $T$ .

Al estudiar un río, la forma del hidrograma de crecidas es igualmente crucial. El impacto del agua en el cauce se ve influido por la longitud de los caudales fuertes cerca de su máximo o por la pendiente de las curvas aguas arriba o aguas abajo (estas últimas suelen ser más suaves). La forma del hidrograma está relacionada con el fugaz fenómeno de la erosión del cauce. Otros fenómenos de erosión importantes relacionados con la ingeniería fluvial son acumulativos, lo que significa que el tiempo influye en ellos. Del mismo modo, el volumen y la duración de una crecida influyen significativamente en los daños que pueden causar sus aguas desbordadas. El hidrograma de crecidas muestra los dos factores (fig. 1.).

#### GEOMETRIA HIDRAULICA

Las correlaciones entre el caudal y los parámetros de carga de sedimentos, anchura, profundidad y velocidad media son utilizadas por la geometría hidráulica para caracterizar la naturaleza de los canales dentro de una cuenca. La geometría hidráulica del flujo de un arroyo o canal, incluye los gráficos de los parámetros del canal - anchura, profundidad y velocidad, en función de la descarga en una sección transversal.

El estudio de las conexiones entre la descarga y las propiedades hidráulicas del cauce se conoce como geometría hidráulica. Estos atributos consisten en la carga de material del lecho, el caudal, la velocidad, la profundidad, la pendiente y la anchura. (Cortés Arango,2016).

## CLASIFICACION DE LOS RIOS

Los ríos suelen clasificarse desde diversas perspectivas para facilitar la investigación de la morfología de los ríos. De este modo, resulta sencillo localizar cualquier curso de agua e identificar sus características principales. Debe recordarse que pueden existir escenarios intermedios entre los que se esbozarán en esta clasificación: (J. Álvarez, 1995).

### 1) Según la Edad

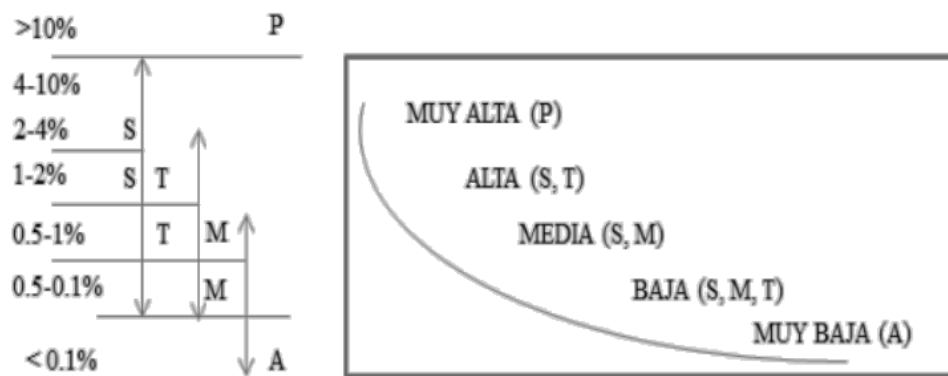
- i. Ríos jóvenes: presentan una sección transversal en forma de «V», pendientes pronunciadas y se encuentran en corrientes de montaña. Suelen estar en proceso de descomposición y son muy irregulares. (S. Jimenes, 2016).
- ii. Ríos maduros: presentan escasa pendiente, amplios valles y el desgaste de las orillas ha suplantado a la del fondo. Estos ríos son constantes y, a lo largo de todo su curso, la sección transversal de cada tramo puede soportar la carga de sedimentos. (S. Jimenes, 2016).
- iii. Ríos viejos: se sitúan en amplias llanuras y valles 15-20 veces más anchos que los meandros. En los márgenes, las pendientes extremadamente bajas crean depósitos naturales de limo. A menudo, hay tramos de lagos y/o turberas en forma de herradura que son los restos de meandros cortados de forma natural que fueron abandonados. (S. Jimenes, 2016).

### 2) Según la pendiente

La principal diferencia en el régimen hidráulico viene determinada por la pendiente de un río. Las pendientes de los ríos suelen oscilar entre el 0,5% y el 1,5%, siendo más altas en las zonas montañosas y más bajas en las tierras bajas próximas a la desembocadura. Los ríos con una pendiente superior al 1,5% se denominan torrenciales, y los que tienen una pendiente superior al 6%, torrentes. Debido a la gran cantidad de limo que transportan, los flujos torrenciales se comportan de forma diferente a los flujos newtonianos. (J. Álvarez, 1995).

La pendiente del cauce representa con precisión el perfil longitudinal del río, que se ajusta a las numerosas pendientes que debe atravesar durante su recorrido modificando su secuencia longitudinal y formando simultáneamente las siguientes formas del cauce: rápidos, rápidos-aguas de remanso, cascadas, cascadas-aguas de remanso (E. Díaz Bea & A. Ollero Ojeda, 2005).

**Figura N°2 Intervalos de pendiente**



Fuente: (J. Alvarez, 1995).

### 3) Según el tipo de fondo

Los ríos pueden describirse como de lecho aluvial, de arena o de grava, o como cauces de lecho encajados o rocosos, en función de la naturaleza del lecho y del cauce. Ya sean arenosos o de grava, los ríos de lecho aluvial tienen una evolución morfológica rápida (semanas o años) y altas tasas de movimiento de sedimentos. Como el material del lecho de los ríos encajados es tan duro, el tránsito de sedimentos es relativamente escaso y la evolución morfológica de los sedimentos se produce de forma considerablemente más lenta (a lo largo de decenas o incluso siglos). (J. Álvarez, 1995).

#### **4) Según la forma en planta**

##### Ríos rectos

Hay muy pocos ríos rectos en la naturaleza. Suelen considerarse una etapa intermedia entre el estado meandriforme y el estado de transición. «Straight rivers» que es el término en inglés para los ríos que son rectos. (A. Rocha, 1998).

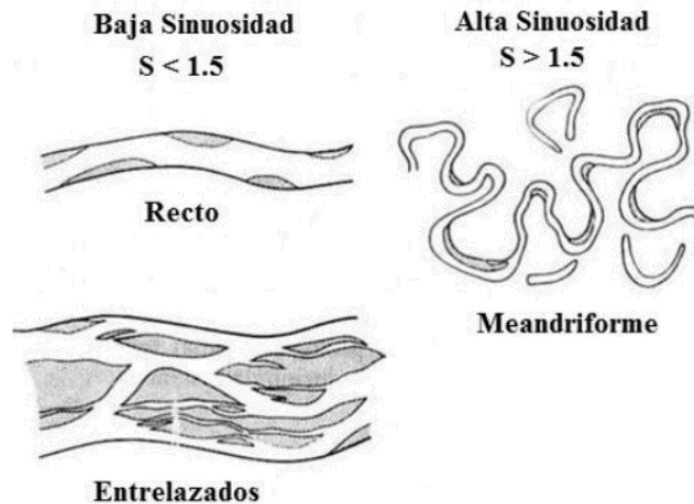
##### Ríos entrelazados

Se les ha descrito como «multicanalizados». Estos canales suelen separarse y volver a unirse. La cualidad de este río es que fluye de forma meandriforme, o literalmente «entrelazada». El comportamiento de los ríos con patrones entrelazados es notablemente errático y sumamente inestable. Puede haber grandes volúmenes de sólidos en el lecho que superen el fondo de carga de la corriente. Los sedimentos desbordados se asientan y crean islas efímeras y orillas inestables. (A. Rocha, 1998).

##### Ríos meándricos

Una característica común a los ríos aluviales es su propensión a producir meandros. Por eso se les califica de errantes. Esto significa que su incapacidad para seguir un camino recto es una propensión natural y un signo de su inestabilidad. Este tipo de ríos se denominan en inglés «meandering rivers». Cuando surgen ríos meandrosos, el cauce del río debe aumentar inevitablemente, lo que provoca un descenso de la velocidad media y de la pendiente de la corriente. (A. Rocha, 1998).

**Figura N°3: Clasificación Morfológica de los Ríos**



Fuente: (A. Rocha, 1998).

### 5) Según grados de libertad

- Un grado de libertad: Se dice que el río tiene un grado de libertad si su tirante es la única variable que cambia con el gasto. Esto ocurre en los canales que tienen paredes, un fondo y una pendiente que permanecen constantes a pesar de las variaciones en la descarga. El transporte de sedimentos no existe cuando sólo hay un grado de libertad. (J. Álvarez, 1995).
- Dos grados de libertad: Un río tiene dos grados de libertad si las únicas variables que pueden cambiar son el tirante y la pendiente. Esto puede ocurrir cuando el fondo no es tan resistente como las orillas. (J. Álvarez, 1995).
- Tres grados de libertad: El río tiene tres grados de libertad si, además de la pendiente y su tirante, también pueden modificarse las orillas y la anchura. (J. Álvarez, 1995).



*Figura N°4: Clasificación de los Ríos por sus grados de libertad*



Río con un grado de libertad,  
cambio del tirante.



Río con dos grados de libertad,  
pendiente, tirante.



Río con tres grados de libertad,  
pendiente, tirante y ancho.

Fuente: (J. Álvarez, 1995).

## **6) Tamaño y forma del material**

Para clasificar una partícula por su tamaño existen varias interpretaciones. Basada en el diámetro, la versión de la American Geophysical Unión (A.G.U.) se muestra en la Tabla N°01. Es posible medir el tamaño exacto de guijarros y cantos rodados. Para medir el tamaño de arenas y gravas se utilizan mallas, mientras que para evaluar el tamaño de arcillas y limos se recurre al microscopio o a la sedimentación. (A. Rocha, 1998)

**Tabla N° 01**

**Clasificación de partículas de acuerdo a la American Geophysical Unión (A.G.U.) (Escala de Wentworth)**

1. Cantos rodados (250 – 4000 mm)	<b>Muy grandes.</b>	<b>4000 – 2000 mm</b>
	<b>Grandes.</b>	<b>2000 – 1000 mm</b>
	<b>Medianos.</b>	<b>1000 – 500 mm</b>
	<b>Pequeños.</b>	<b>500 – 250 mm</b>
2. Guijarros (64 – 250 mm)	Grandes.	250 – 125 mm
	Pequeños.	125 – 64 mm
	Muy Gruesa.	64 – 32 mm
	Gruesa.	32 – 16 mm
3. Gravas (2 – 64 mm)	Media.	16- 8 mm
	Fina.	8 – 4 mm
	Muy fina.	4 – 2 mm
	Muy gruesa.	2 – 1 mm
	Gruesa	1 – 0.5 mm
4. Arenas (0.062 – 2 mm)	Media	0.5 – 0.25 mm
	Fina	0.25 – 0.125 mm
	Muy fina	0.125 – 0.062 mm

**5. Limos**

- **(4 a 62 u) = (0.004 a 0.062 mm)**

**6. Arcillas**

- **(0.24 a 4 u) = (0.00024 a 0.004 mm)**

Fuente: Introducción a la hidráulica fluvial (A. Rocha, 1998).

## RÍOS EFIMEROS

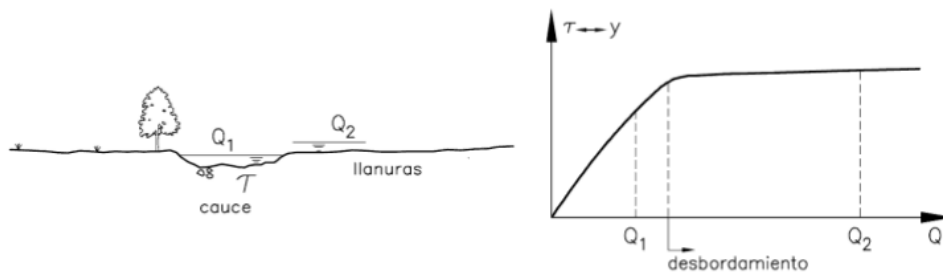
A diferencia de los ríos perennes, estos ríos están secos la mayor parte del año y sólo retienen agua durante los periodos de lluvias intensas. Son comunes en regiones semiáridas o áridas. Ejemplos de este tipo único de ríos son las ramblas, los barrancos y varios arroyos de la región mediterránea. (Vide, 2009).

## CAUDAL DOMINANTE

El caudal dominante es el que da lugar a la geometría hidráulica investigada donde necesita emplearse. Se trata de comprender que la geometría resulta del caudal y, más precisamente, que, si una geometría es permanente, es porque algunos caudales se convierten en el caudal determinante por su magnitud, frecuencia o una mezcla de ambas.

Esta noción tiene un referente claro en geomorfología fluvial. Muchos ríos tienen un cauce, lecho, madre o álveo diferenciado, más o menos hondo y ancho, que están confinados por riberas que los separan de las llanuras de inundación. Estas características pueden variar en profundidad y anchura (fig. 5). Otro nombre que reciben es el de cauce principal|.

**Figura N°5: Ilustración del concepto de caudal dominante. A la derecha gráfico de variación de la tensión tangencial en función del caudal circulante.**



Fuente: (Vide, 2009).

El caudal del canal primario produce la mayor o más significativa influencia modeladora sobre el canal (medida en fuerza por unidad de superficie (FUA) o tensión tangencial) ya que un caudal mayor apenas potencia la acción y es menos frecuente. ( $v$  o  $r$ ) (fig.5). (Vide, 2009).

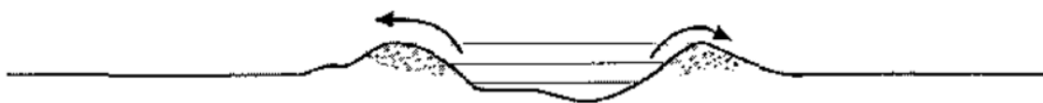
## LLANURAS DE INUNDACIÓN

Las zonas que se inundan periódicamente cerca del cauce principal del río se conocen como llanuras aluviales. Los ríos de baja pendiente con morfología meandriforme - también conocidos como ríos de llanura aluvial- son el ejemplo más típico. Aunque la

llanura aluvial es una zona muy llana, en ella se dan varias formas. Puede parecer plana, ligeramente cóncava o ligeramente convexa en una sección transversal. El segundo escenario (fig. 6) se da cuando las orillas del cauce principal se elevan por encima del terreno circundante, creando crestas de origen natural (diques, crestas, motas, o albardones). Los ríos que presentan este atributo se denominan «colgados». Las zonas más profundas de la llanura, conocidas como depresión o cubeta, son otra formación relacionada.

Dado que las llanuras tienen una larga historia geológica, pueden haber acumulado meandros cortados, paleocanales (cauces fluviales de épocas geológicas anteriores reconocibles estratigráficamente) y otros restos de cauces abandonados o extinguidos, dando lugar a una variedad de elevaciones y depresiones elevadas. Algunos cauces, denominados comúnmente cursos de agua elevados, tienen la capacidad de ser «activos», es decir, que transportan agua cuando la llanura está habitada. Es necesario incluir el hecho de que el río tiene afluentes que se le unen en la llanura.

*Figura N°6. Cauce colgado con dos albardones o motas naturales.*

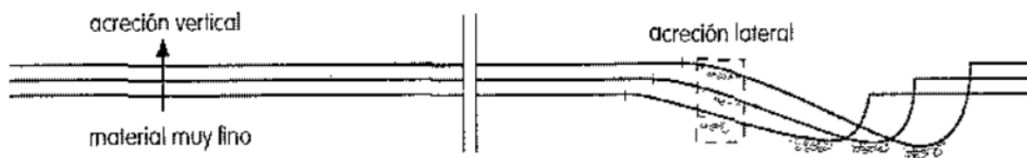


Fuente: (Vide, 2009).

La llanura es una forma sedimentaria. Debido a la forma en que se han depositado los sedimentos, sus suelos son muy diversos. Si nos centramos en los ríos de la llanura, lo primero que encontramos es que, en las zonas con menor velocidad y alejadas del cauce principal, hay depósitos de partículas muy finas (arcilla). A medida que el nivel de la llanura va subiendo, se produce un proceso conocido como acreción vertical, siendo en realidad la sedimentación el proceso predominante en las llanuras (fig. 7). En la llanura, una inundación puede dejar tras de sí una capa considerable de material fino. En segundo

lugar, la formación de las barras en las porciones interiores de los recodos es el origen de los depósitos de acreción lateral (fig. 6). Estos depósitos pueden ocupar extensiones considerables debido a la longitud y anchura del corredor fluvial, que puede ser barrido por meandros a lo largo de su historia (fig. 7). Luego, en función de cómo se hayan formado, se descubren materiales más gruesos y más finos cerca de la superficie, en el fondo de un sondeo.

**Figura N°7: Depósitos de acreción vertical y lateral en una llanura de inundación.**



Fuente: (Vide, 2009).

El río puede haber excavado la orilla exterior en todo tipo de depósitos, pero lo más probable es que lo hiciera con cierta acreción vertical, razón por la que se comporta de forma relativamente cohesiva. Otros depósitos gruesos proceden de la sedimentación de partículas gruesas, de filamentos naturales formados por pequeñas crecidas y de cauces abandonados.

## EL FENÓMENO DE LAS INUNDACIONES

Cuando las precipitaciones aumentan por encima de la capacidad del suelo para retener y absorber el agua, y se supera la capacidad de los ríos, es lo que provoca el desbordamiento del cauce principal y la inundación de la zona circundante. Hay varias formas de provocar inundaciones.

A. Inundaciones provocadas por los ríos. Son el resultado de la acumulación de precipitaciones sin que siempre coincidan con el desbordamiento del cauce por procesos fluviales.

B. Inundaciones en los ríos. Se producen por el desbordamiento de los ríos, debido a que el caudal aumenta por encima de la capacidad del cauce.

C. Inundaciones por rotura. El funcionamiento incorrecto de las obras de infraestructura hidráulica es el origen de estas inundaciones. (Ahmed, 2008)

Cuando un factor natural extraordinario interactúa con la actividad humana, las inundaciones se convierten en un problema. Cuando el caudal no rebasa las limitaciones establecidas, se consideran recursos; cuando lo hace, se considera un riesgo. Como no siempre es posible estar preparado para este fenómeno, para ilustrar este riesgo pueden utilizarse las pérdidas en términos de personas y dinero. Los posibles cursos de acción vienen determinados por los hechos históricos de cada parte de la tierra; con el tiempo, se producirá un acontecimiento que supere los registros que definen la zona inundable. (Desenvolupament Sostenible, 2020).

## EL FENÓMENO DEL NIÑO

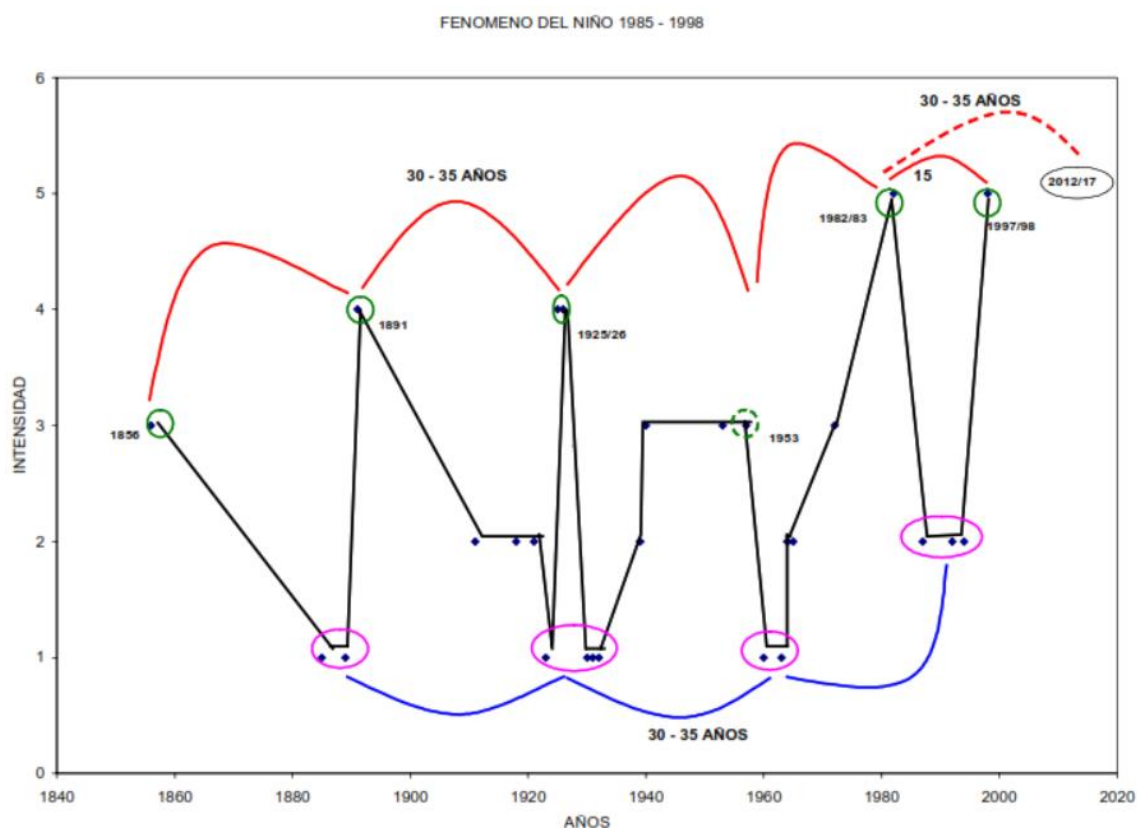
A diferencia del fenómeno de El Niño, provocado por la llegada de aguas cálidas procedentes del Pacífico occidental, el fenómeno de El Niño costero se define como un acontecimiento caracterizado por un aumento de la temperatura superficial del mar (TSM) superior a  $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  (VN:  $17\text{ a }19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Esto se debe a la entrada de aguas cálidas procedentes del norte ecuatorial, que forman la onda Kelvin.

Este fenómeno crea condiciones favorables para precipitaciones extremadamente intensas, que activan las corrientes de agua y provocan corrimientos de tierra, inundaciones y estancamiento de las aguas en las distintas poblaciones afectadas. (Espinoza N.,2017)

En los últimos 500 años se han producido al menos 120 episodios de El Niño. A diferencia de los países del hemisferio norte, Perú no contó con suficiente instrumentación para la

observación del clima hasta la segunda década del siglo XX, y aun así, sólo en algunas zonas de la nación. La observación del clima no empezó en serio hasta 1965, cuando se instalaron la mayoría de las estaciones meteorológicas e hidrológicas dentro de nuestra área. Por esta razón, no existen datos observacionales del Perú que documenten síntomas de ocurrencia de El Niño antes de esa fecha. (Senamhi,2014)

**Figura N°8: Intervalo de tiempos para los fenómenos del niño en el Perú**



Fuente: (Espinoza N.,2017)

### 2.2.3 MODELAMIENTO HIDROLOGICO

Existen dos tipos de modelos hidrológicos: los modelos físicos y los modelos abstractos. Un modelo hidrológico se aproxima al funcionamiento real del ciclo del agua en la cuenca. Donde, dependiendo de la aleatoriedad con que se seleccionen las variables, los modelos abstractos pueden ser estocásticos o deterministas. Los modelos hidrológicos distribuidos se acercan mucho más a la realidad cuando la escorrentía se reconoce como una respuesta

hidrológica continua en el espacio y en el tiempo que afecta de distintas maneras a toda la superficie de la cuenca. Se reitera lo crucial que es tener acceso a la información sobre lo que ocurre en toda la cuenca en todo momento. Como resultado, estos modelos imitan la esorrentía en un punto determinado teniendo en cuenta el impacto del espacio circundante, o de las regiones que drenan y vierten en él. (A. Triviño & S. Ortiz, 2004).

El objetivo de los modelos hidrológicos es reproducir lo que ocurre en el mundo real. Sin embargo, como en los modelos hidrológicos existen errores de diversa procedencia, ningún modelo hidrológico puede representar con precisión los intrincados procesos que intervienen en la hidrología, a pesar de las recientes mejoras de la ciencia y la tecnología. Unos procedimientos de calibración adecuados pueden reducir estas imprecisiones. (Cabrera, 2012).

#### CUENCA HIDROGRÁFICA

La zona de tierra donde todas las aguas procedentes de precipitaciones, nevadas, acuíferos, etc.; fluyen de forma natural a lo largo de cursos superficiales o ríos hacia un lugar, o punto de vertido, se conoce como cuenca hidrográfica. Este punto de descarga suele ser una gran masa de agua, como un río, un lago o un océano. La extensión de la cuenca hidrográfica es un área territorial natural que no está delimitada por fronteras políticas, administrativas, internacionales o nacionales.

La cuenca es también la zona donde residen las personas en poblaciones urbanas o rurales densas, así como el lugar donde se desarrollan actividades importantes que dependen del agua para su crecimiento. (Aguirre Núñez, 2011)



## PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS RESALTANTES DE UNA CUENCA.

**Tabla N°2**

**Parámetros morfométricos de una cuenca.**

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>
Área (A)	Km <sup>2</sup>
Altitud media (H)	m.s.n.m
Perímetro (p)	Km
Índice de Gravelius (Kc)	Adim.
Relación de confluencias (Rc)	Adim.
Coefficiente orográfico (Co)	Adim.
Número de orden (O)	Adim.
Longitud de máximo recorrido(L)	Km
Pendiente del máximo recorrido (S)	Adim.
Tiempo de concentración (tc)	Minutos

Fuente: (ORTIZ, O. 1994)

### TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El periodo de concentración es la cantidad de tiempo que transcurre entre el inicio de las precipitaciones y el establecimiento del caudal de equilibrio. Es igual al tiempo que tarda el agua en desplazarse desde el punto más alejado hasta el desagüe de la cuenca. (APARICIO, F. 1992).

El tiempo que el agua debe recorrer para llegar a la salida de la cuenca y la velocidad media que adquiere dentro de la cuenca determinan, por supuesto, el tiempo de concentración (tc). Esta velocidad depende de las pendientes del terreno y de los cursos de agua, así como de la rugosidad de la superficie de ambos. El tiempo de concentración se calcula con la ecuación 1. (Aparicio,1992).

$$Tc = \frac{L}{3600 V} \dots\dots (1)$$

Donde:

$t_c$ : tiempo de concentración en hr.

$L$ : longitud del cauce principal de la cuenca en m.

$V$ : velocidad media del agua en el cauce principal en m/s.

Nótese que la ecuación (1) no toma en cuenta el recorrido del agua de lluvia desde que llega a la superficie hasta los cauces.

Otra manera de estimar el tiempo de concentración es mediante la ecuación de Kirpich:

$$t_c = 0.0194 L^{0.77} S^{-0.385} \dots\dots (2)$$

$t_c$ : tiempo de concentración en *min*

$L$ : longitud del cauce principal de la cuenca en *m*.

$S$ : pendiente promedio de la cuenca, *m/m*.

En una cuenca no impermeable, sólo una parte de la lluvia con intensidad *i* *escurre* directamente hasta la salida. (APARICIO,1992)

#### INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN

Es la cantidad de agua que cae en un tiempo determinado. Su valor depende invariablemente del periodo de retorno y duración del evento. (Béjar.M,2004)

#### FORMULA DE DICK-PESCHKE

Esta fórmula relaciona la duración de la tormenta con la cantidad de lluvia que puede caer en un día. La fórmula es la siguiente:

$$P_d = P_{24} \left( \frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

Donde:

$P_d$  = precipitación total (mm)

$d$  = duración en minutos

$P_{24}$  = precipitación máxima en 24 horas (mm)

La intensidad se halla dividiendo la precipitación  $P_d$  entre la duración.

## HIETOGRAMA DE DISEÑO

En ocasiones, los datos de intensidad no son insuficientes para determinar la evolución de la precipitación máxima en cinco horas más lluviosas siendo 100 mm, por ejemplo. Podríamos necesitar información sobre la evolución de esos 100 mm durante esas cinco horas. Además del valor de precipitación o la intensidad de diseño, las metodologías hidrológicas más contemporáneas exigen la inclusión de una distribución temporal (de tormentas), o el análisis de la distribución en el tiempo de las tormentas registradas. (M. Hidrología, Hidráulica y Drenaje, 2013)

## MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO

Se puede utilizar una curva de duración-frecuencia para crear un hietograma de diseño con facilidad empleando el método de bloques alternos. Para un período total de  $T_d = n * \Delta t$ . El hietograma de diseño generado por este método especifica la profundidad de la precipitación en  $n$  intervalos de tiempo consecutivos de duración. La precipitación máxima se sitúa en el centro del hietograma según las características de este método.

## HIDROGRAMAS SINTÉTICOS

Las simulaciones artificiales creadas con los parámetros y características fisiográficas de la cuenca de interés se denominan hidrogramas sintéticos. Su objetivo es imitar o representar un hidrograma típico del fenómeno hidrológico de la cuenca para calcular el caudal punta necesario para el diseño.

## HIDROGRAMA SINTÉTICO TRIANGULAR DEL SCS

Mockus inventó esta técnica, que acabó adoptando el Servicio de Conservación del Suelo. (S.C.S.). Proporciona los parámetros fundamentales del hidrograma, como son: caudal pico ( $Q_p$ ); tiempo base ( $t_b$ ) y tiempo en el que se produce el pico ( $t_p$ ).

El tiempo de recesión,  $t_r$ , puede aproximarse a:

$$t_r = 1.67 T \dots\dots (3)$$

Como el área bajo el hidrograma unitario debe ser igual a una escorrentía de 1 cm, puede demostrarse que:

$$q_p = \frac{2.08 A}{T_p} \dots\dots (4)$$

Donde:

A: es el área de drenaje en Km<sup>2</sup>

$T_p$ : es el tiempo de ocurrencia del pico en horas

Adicionalmente, un estudio de muchas cuencas ha demostrado que:

$$t_p = 0.6 t_c \dots\dots (5)$$

Donde:

$t_p$ : Tiempo de retardo (entre el centroide del hietograma y el pico de caudal) (h)

$t_c$ : Tiempo de concentración de la cuenca.

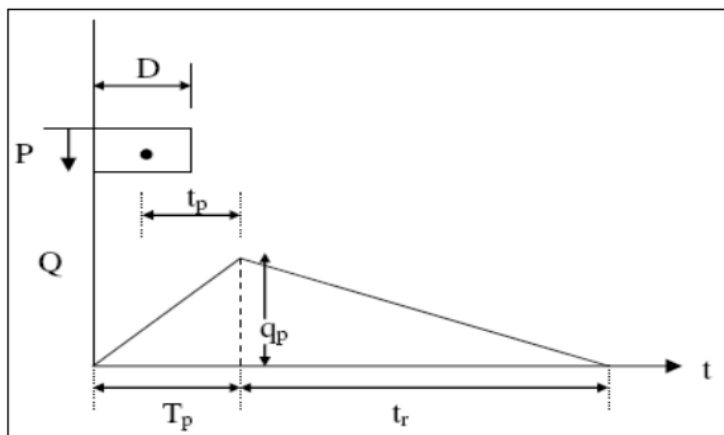
El tiempo de ocurrencia del pico,  $T_p$ , puede expresarse como:

$$T_p = \frac{D}{2} + t_p \dots\dots (6)$$

Donde:

D: duración de la lluvia (h)

**Figura N°9: Hidrograma Unitario Triangular del SCS.**



Fuente: ((M. Hidrología, Hidráulica y Drenaje,2013)).

### MÉTODO DE LA CURVA NÚMERO SCS

La base de toda la técnica SCS es un parámetro que pretende caracterizar el tipo de suelo, cómo se utiliza y su estado superficial en relación con la posibilidad de producir escorrentía superficial. El número de curva, o CN, es el símbolo de este parámetro. El valor de CN es un número entre 0 y 100, donde 100 representa una cuenca completamente impermeable y cero representa una cuenca con conductividad hidráulica infinita.

Es importante recordar que la proporción de superficie impermeable en la cuenca no viene expresada por el valor de CN. SCS ha podido tabular los valores de CN para diversos tipos de suelo, sus usos y las condiciones de la superficie mediante el análisis de muchas cuencas hidrográficas. Estos valores aparecen en la tabla N°3 para las regiones urbanas y suburbanas y en la tabla N°4 para las regiones rurales.

**Tabla N°3**

*Valores numéricos de escorrentía para regiones urbanas y suburbanas.*

USO O COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO			
	A	B	C	D
ZONAS CULTIVADAS: Sin medidas de conservación del suelo	72	81	88	91
Con medidas de conservación del suelo	62	71	78	81
PASTOS O TIERRAS VALDIAS: En mal estado	68	79	86	89
En buenas condiciones	39	61	74	80
PRADO EN BUEN ESTADO	30	58	71	78
BOSQUES O AREAS FORESTALES: Mala cobertura	45	66	77	83
Buena cobertura	25	55	70	77
ESPACIOS ABIERTOS (césped, parques, cementerios, campos deportivos, etc.):				
Buenas condiciones: Césped que cubre más del 75% del área.	39	61	74	80
Condiciones razonables: Césped que cubre del 50% al 75% del área.	49	69	79	84
AREAS COMERCIALES Y DE OFICINAS (85% área impermeable)	89	92	94	95
ZONAS INDUSTRIALES (72% área impermeable)	81	88	91	93
ZONAS RESIDENCIALES:				
Áreas promedio de lote				
		% medio de impermeabilidad		
<500m <sup>2</sup>	77	65%	85	90
1000m <sup>2</sup>	61	38%	75	83
1300m <sup>2</sup>	57	30%	72	81
2000m <sup>2</sup>	54	25%	70	80
4000m <sup>2</sup>	51	20%	68	79
PARQUES DE ESTACIONAMIENTO, VIADUCTOS, ETC	98	98	98	98
CALLES Y CAMINOS:				
Asfaltado y con drenaje pluvial.	98	98	98	98
Gravilla	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

**Tabla N°4***Valores numéricos de escorrentía para regiones rurales*

Uso o cobertura del Suelo	Condiciones de la Superficie	Tipo de Suelo			
		A	B	C	D
Suelo labrado		77	86	91	94
Cultura cultivable	Según la mayor pendiente	64	76	84	88
	Según las curvas de nivel	62	74	82	85
	Según curvas de nivel y en terrazas.	60	72	79	82
Rotaciones de cultivos	Según la mayor pendiente	62	75	83	87
	Según las curvas de nivel	60	72	81	84
	Según curvas de nivel y en terrazas.	57	70	78	82
Pastos	Pobre	68	79	86	89
	Normal	49	69	79	84
	Bien	39	61	74	80
	Pobre, según las curvas de nivel	47	67	81	88
	Normal, según las curvas de nivel	25	59	75	83
	Bien, según las curvas de nivel	6	35	70	79
Pradera permanente	Normal	30	58	71	78
Zonas sociales rurales	Normal	59	74	82	86
Carreteras	Pavimento permeable	72	82	87	89
	Suelos impermeables	74	84	90	92
Bosques	Transpiración muy abierta o baja.	56	75	86	91
	Transpiración abierta o baja.	46	68	78	84
	Normal	36	60	70	76
	Denso o muy transpirante.	26	52	62	69
	Muy densa o altamente transpirada.	15	44	54	61
Superficies Impermeables		100	100	100	100

Los suelos considerados en estos datos se dividen en cuatro clases hidrológicas distintas.

(Alberca,2022)

TIPO A – Suelos con permeabilidad extremadamente alta o flujo directo mínimo. incluyen loess profundos altamente permeables, así como arenas profundas con muy poco limo o arcilla.

TIPO B – son menos porosos que los de tipo A. Se componen principalmente de suelos arenosos menos agregados y menos profundos que los de tipo A, así como de «loess» que reúne ambas cualidades. No obstante, la permeabilidad de estos suelos es superior a la típica.

TIPO C – Suelos que generan más escorrentía directa de lo habitual, tanto por encima como por debajo de la producida por las otras categorías. comprende suelos ricos en arcilla (aunque no tanto como los del Tipo D) y suelos poco profundos.

TIPO D – Suelos con subhorizontes casi impermeables y arcillas expansivas, que dan lugar a niveles significativos de escorrentía directa en algunos suelos poco profundos.

Las circunstancias húmedas antecedentes que corresponden al escenario AMCII de la tabla 5 son la base de los valores de CN que se muestran en las tablas 3 y 4. Para realizar los cálculos correspondientes a circunstancias previas excepcionalmente secas o particularmente húmedas, los valores de CN de los cuadros 3 y 4 deberán ajustarse si la cuenca cumple los requisitos de las situaciones AMCI y AMCII.

**Tabla N°5**  
**Condiciones de humedad antecedentes**

<b>AMCI</b>	Situación en la que el suelo está seco, pero no al punto de marchitarse. No se recomienda considerar este caso para estudios de caudales de inundación.
<b>AMCII</b>	Situación promedio en la que la humedad del suelo debe corresponder a la capacidad de campo. Esta situación probablemente corresponde a las condiciones de humedad que preceden a pequeñas inundaciones
<b>AMCIII</b>	Una situación en la que en los cinco días anteriores se produjeron precipitaciones importantes y el suelo está casi saturado. Esta es la situación más propicia para la formación de grandes inundaciones y por tanto la más importante para el proyecto.



## HYDROLOGIC MODELING SYSTEM (HMS) - SISTEMA DE MODELAMIENTO HIDROLÓGICO

Con una representación espacial semidistribuida que se consigue dividiendo la cuenca en unidades de subcuenca más pequeñas, se trata de un modelo conceptual basado en datos físicos y empíricos.

El objetivo del programa es reproducir cómo la precipitación en una cuenca se convierte en escorrentía tanto en circunstancias naturales como artificiales. Mayor facilidad de operación en el desarrollo de modelización distribuida, la ininterrumpida simulación (en lugar de la simulación de eventos) y una interfaz gráfica de usuario que facilita la introducción de datos antes de iniciar el proceso de modelización y la gestión de la información después de la modelización son algunas de las mejoras que ofrecen las nuevas versiones de HEC HMS con respecto a versiones anteriores.

Los cuatro módulos fundamentales del programa definen colectivamente la estructura de entrada de datos y modelamiento de la cuenca:

- Datos de entrada. El software muestra un sistema de introducción de datos. Información que se procesará posteriormente en función de los numerosos submódulos de modelización que la necesiten.
- Modelo de cuenca. La parte física de la cuenca está representada por el modelo de cuenca. El usuario reúne y conecta los elementos hidrológicos para crear un modelo de cuenca. Los procesos físicos de la cuenca son descritos por los elementos hidrológicos mediante modelos matemáticos.
- Modelo de precipitación. Determina cuánta precipitación necesita una subcuenca. Se pueden utilizar datos de precipitación distribuidos espacialmente o datos de precipitación puntuales. La evapotranspiración, así como las precipitaciones sólidas y líquidas, pueden modelizarse con el módulo. Los cálculos de

evapotranspiración sólo son necesarios para simular respuestas hidrológicas a largo plazo.

- Módulo de control. La duración de cada simulación viene determinada por los ajustes del control. El día de inicio, día de termino y el intervalo de tiempo para simulación deben especificarse en las especificaciones del control. (Aguilar, 2016)

#### 2.2.4 MODELAMIENTO HIDRÁULICO

La predicción de los valores que toman las variables hidráulicas a partir de la resolución por métodos numéricos de ecuaciones obtenidas con una serie de supuestos es el proceso de modelización matemática del flujo de agua en un río. Los efectos de la propagación de las crecidas en los ríos pueden estudiarse utilizando modelos unidimensionales y bidimensionales. Las ecuaciones y esquemas bidimensionales (también conocidas como ecuaciones de aguas poco profundas) se utilizan debido a la necesidad de estudiar fenómenos cada vez más complejos, a la observación de que hay muchas situaciones en la naturaleza en las que el flujo parece ser efectivamente bidimensional, es decir, las dimensiones horizontales predominan sobre las verticales, y a la creciente capacidad y velocidad de los ordenadores. (E. Bladé & L. Cea, 2012).

#### MODELO HEC-RAS

El software de Análisis Fluvial (HEC-RAS) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos, facilita el cálculo de flujos no estacionarios unidimensionales y bidimensionales, el transporte de sedimentos/lecho móvil, la modelización de la temperatura/calidad del agua y el transporte de sedimentos. (Brunner, 2016)

Los usuarios pueden ahora realizar modelizaciones no estacionarias bidimensionales y una mezcla de trazado de flujos no estacionarios 1D y 2D gracias a que HEC ha añadido la condición de ejecutar trazado hidrodinámico bidimensional dentro del análisis de flujos

no estacionarios HEC RAS. Existen varias aplicaciones para el área de flujo 2D de HEC-RAS. Se brindan algunos ejemplos de cómo pueden utilizarse las zonas de flujo en 2D para apoyar el modelado con HEC RAS. (Brunner, 2016)

- Modelización en profundidad de canales 2D.
- Modelización en profundidad de llanuras de inundación y canales 1D.
- Fusión de zonas de inundación 2D con canales 1D.
- Integración de regiones de flujo 2D detrás de diques con modelos de canales/llanuras de inundación 1D.
- Enlace directo de tramos 1D dentro y fuera de regiones de flujo 2D.
- Utilizar una estructura hidráulica para conectar directamente una zona de flujo 2D con un espacio de almacenamiento 1D.
- Varias regiones de flujo en 2D de la misma geometría.
- Vincular directamente estructuras hidráulicas a varias zonas de flujo 2D.
- Investigación exhaustiva pero simplificada de la rotura de presas.
- Régimen mixto de flujo. Para un flujo subcrítico y supercrítico, también las transiciones de flujo de subcrítico a supercrítico y de supercrítico a subcrítico, pueden tratarse con capacidades 2D (así como 1D).

#### LIMITACIONES DEL USO DEL HEC-RAS BIDIMENSIONAL

El software tiene las siguientes limitaciones, según el Manual HEC RAS 5.0 para flujos bidimensionales.

- Capacidad limitada para incluir estructuras hidráulicas internas en un flujo bidimensional.
- No es capaz de mover sedimentos por erosión o deposición en un flujo bidimensional.

- No es posible realizar la modelización actual de la calidad del agua en zonas de flujo 2D.
  - Las estaciones de bombeo no pueden conectarse dentro de una región 2D.
  - En HEC-RAS, los puentes no pueden modelarse dentro de un flujo 2D.
- (US Army Corps of Engineers, 2016).

## ECUACIONES DEL FLUJO NO PERMANENTE

En los cursos de agua naturales, el caudal, la velocidad y la altura del agua fluctúan con el espacio (en secciones transversales) debido al flujo inestable, en el que se detalla el proceso disperso. (US Army Corps of Engineers, 2016).

HEC-RAS calcula las ecuaciones de Saint Venant para este tipo de flujo. Estas ecuaciones se basan en principios físicos conocidos como principios de conservación del momento y de la masa (continuidad), que regulan el flujo en los arroyos. (US Army Corps of Engineers, 2016).

## MODELO IBER

El módulo hidrodinámico del modelo matemático bidimensional Iber simula caudales fluviales, cauces y cursos de agua naturales, permitiendo calcular inundaciones y definir zonas inundables.

Esta herramienta fue creada por la Administración Pública española de la mano con múltiples instituciones superiores españolas en respuesta a la falsa afirmación del Centro de Estudios Hidrográficos de que tenía acceso a un modelo que simplificaría el proceso de aplicación de las actuales leyes sectoriales del país en materia de aguas.

El modelo Iber es una utilidad gratuita que puede descargarse sin coste alguno desde su página web. Se incluye en la categoría de utilidades conocidas como software libre.

## ECUACIONES DE SAINT-VENANT

Las ecuaciones de Saint-Venant no pueden derivarse sin las siguientes presunciones:

1. El flujo es unidimensional; la dirección longitudinal del canal es el único lugar donde cambian la profundidad y la velocidad. Esto implica que la superficie del agua es horizontal en cualquier sección transversal perpendicular al eje longitudinal del canal y que la velocidad del agua es constante.
2. Se supone que el caudal del canal varía gradualmente, predomina la presión hidrostática y se ignoran las aceleraciones verticales.
3. El eje longitudinal del canal forma casi una línea recta.
4. El lecho es fijo y el fondo del canal tiene una ligera pendiente, de modo que los impactos de socavación y deposición son mínimos.
5. Los coeficientes de arrastre son relevantes para el flujo uniforme constante turbulento, permitiendo la descripción de los efectos de arrastre mediante ecuaciones como la de Manning.
6. A lo largo del flujo, la densidad del agua permanece constante.

Fórmula de Saint Venant, conservación de la masa en un tipo de flujo unidimensional no permanente:

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{\partial A}{\partial t} = Q_e \dots\dots\dots (7)$$

t: tiempo

X: Espacio a lo largo del cauce.

A: Área de la sección transversal.

Q<sub>e</sub>: Caudal de entrada lateral distribuido a lo largo de x.

Ecuación del momento del fluido:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + \delta \left( \frac{\partial y}{\partial x} + S_f - S_o \right) = 0 \dots \dots \dots (8)$$

V: Velocidad.

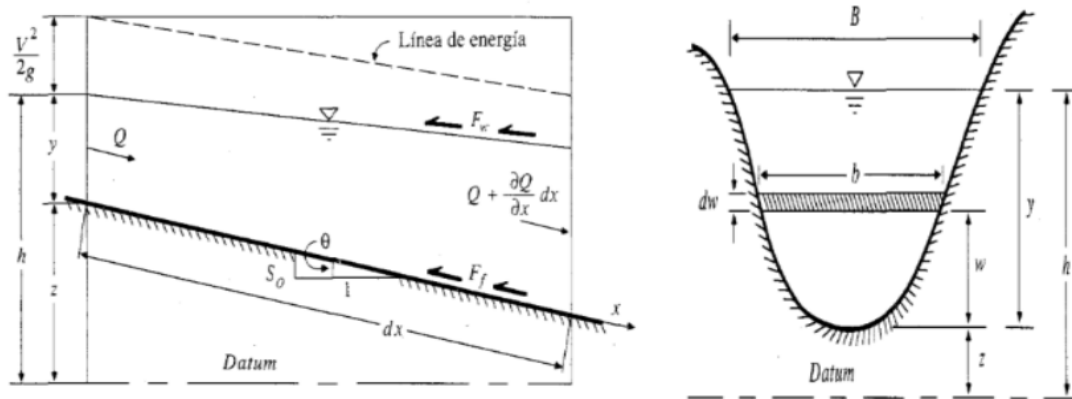
$\delta$ : Constante de aceleración de la gravedad.

y: Elevación de la superficie de agua.

S<sub>f</sub>: Pendiente longitudinal de fricción.

S<sub>o</sub>: Pendiente longitudinal de Cauce.

**Figura N°10: Tramo de un cauce para la deducción de las ecuaciones de Saint-Venant.**



Fuente: (Chow et al., 1994)

Las ecuaciones de Saint Venant para el tráfico distribuido son un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales que, salvo algunas excepciones, son difíciles de resolver analíticamente. Tienen dos variables independientes, x y t, y dos variables dependientes, «y» y Q. Se trata de ecuaciones diferenciales parciales cuya resolución suele requerir el uso de técnicas numéricas. (Chow et al., 1994)

Los modos de diferencias características y finitas son dos de los enfoques convencionales utilizados para resolver las ecuaciones de Saint Venant.

Existen muchos esquemas numéricos explícitos e implícitos, siendo el enfoque de diferencias finitas el más comúnmente empleado. Este enfoque utiliza las fórmulas diferenciales parciales de momento y continuidad para formular ecuaciones de diferencias finitas. El caudal y la altura de la superficie del agua en tiempos y distancias crecientes a lo largo de la corriente o el río se resuelven.

## TRÁNSITO DE AVENIDAS O TRASLACIÓN DE ONDAS

El proceso de determinar el hidrograma del caudal en un lugar de un curso de agua utilizando hidrogramas conocidos en uno o más puntos aguas arriba se conoce como tránsito de avenidas, trazado de hidrogramas o trazado de caudales. Un hidrograma es una representación visual del caudal de una crecida, o del cambio de los caudales a lo largo del tiempo en una cuenca hidrográfica. Suponiendo que no haya pérdida de volumen (evaporación, infiltración, etc.), las estaciones hidrométricas con hidrogramas de picos altos y corta duración serán el punto de partida de las estaciones aguas abajo durante una crecida. Estos hidrogramas disminuirán progresivamente en tiempo punta, pero se sucederán secuencialmente. El área bajo la curva de cada hidrograma producido en las estaciones durante el recorrido es la misma.

El hidrograma de un lugar situado aguas abajo puede obtenerse a partir de un hidrograma situado aguas arriba para calcular así el tránsito de avenidas. La utilidad práctica del método se deriva de la relación entre el carácter catastrófico de una crecida y su caudal más elevado, o pico del hidrograma, lo que hace crucial determinar cómo disminuye este pico a medida que se desplaza aguas abajo.

## MÉTODOS HIDROLÓGICOS

Se calcula en función del tiempo en un lugar particular. Se basa en la ecuación de continuidad, en un tramo de cauce (o en un embalse), bajo lo siguiente:

$$\begin{aligned} & \text{Volumen de entrada en un tiempo } \Delta t - \text{Volumen de salida } \Delta t \\ & = \Delta \text{Volumen de almacenamiento} \end{aligned}$$

Si la expresión se divide entre  $\Delta t$ , se tiene:

$$Q \text{ entrada} - Q \text{ salida} = \frac{\Delta \text{almacenamiento}}{\Delta t} \dots\dots\dots (9)$$

## RUGOSIDAD DE MANNING

La precisión de las alturas estimadas de la superficie del agua depende fundamentalmente de la elección de un valor adecuado para  $n$  de Manning. “ $n$ ” de Manning tiene un valor muy variable que depende de una serie de factores, como la vegetación, la rugosidad de la superficie, las irregularidades del canal, la alineación del canal, la socavación y la deposición, las obstrucciones, el tamaño y la forma del canal, la etapa y la descarga, las variaciones de temperatura, las variaciones estacionales, el material en suspensión y la carga del fondo.

Siempre que se disponga de datos medibles o marcas de pleamar sobre la altura observada de la superficie del agua, los valores “ $n$ ” de Manning deben ajustarse en general. En ausencia de datos medidos, los valores derivados de datos experimentales o los valores  $n$  calculados para condiciones de corriente comparables deberían utilizarse como recomendaciones a la hora de elegir los valores “ $n$ ”.

El usuario tiene acceso a muchas referencias que muestran los valores “ $n$ ” de Manning para canales comunes. En el libro de Chow «Open-Channel Hydraulics» (Hidráulica de canales abiertos), se recopilan con gran detalle los valores  $n$  para arroyos y llanuras de inundación (Chow, 1959). La tabla 6 presenta citas del libro de Chow relativas a los tipos de canales más populares. En el libro de Chow se ofrecen más tipos de canales e ilustraciones de arroyos con valores de “ $n$ ” calibrados. (Manual HEC-RAS,2024)



**Tabla N°6 Rugosidad de Manning**

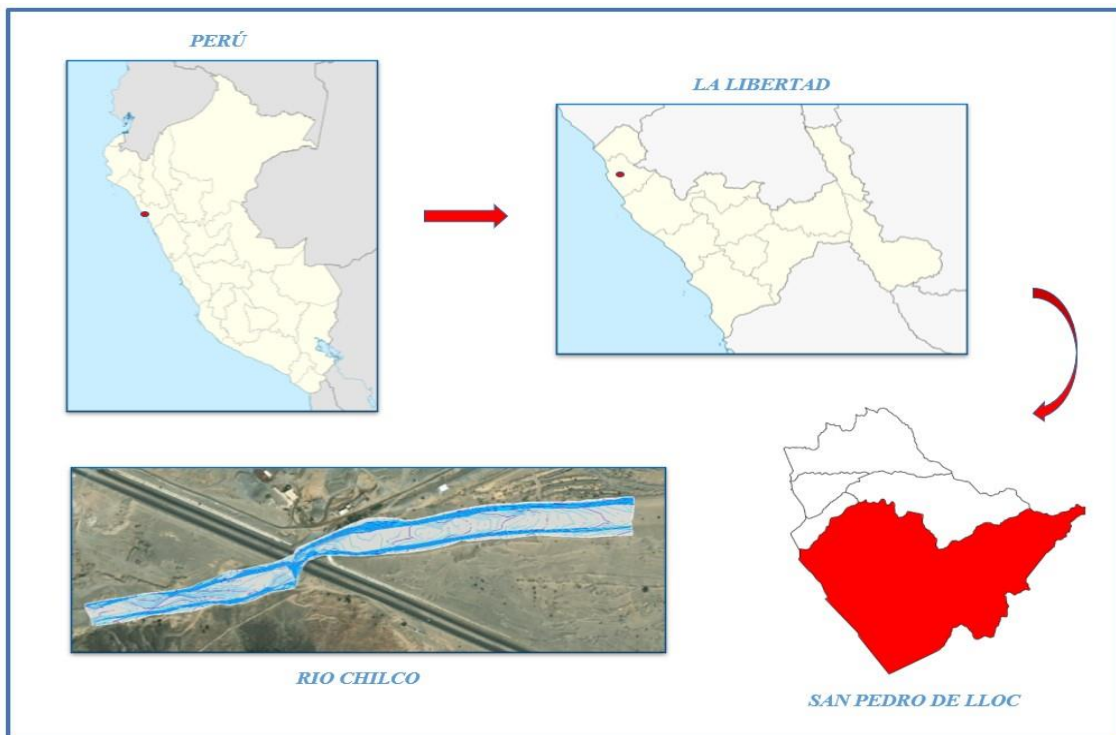
<b>TIPO DE CANAL Y DESCRIPCIÓN</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>NORMAL</b>	<b>MÁXIMO</b>
<b>A. RÍOS NATURALES</b>			
<b>1. Canales principales</b>			
a. Limpio, recto, lleno, sin remolinos o pozos profundos	0.025	0.03	0.033
b. Más piedras y malezas que el anterior	0.03	0.035	0.04
c. Limpio, sinuoso, con algunas pozas y bajíos	0.033	0.04	0.045
d. Algunas malezas y piedras, similar al anterior	0.035	0.045	0.05
e. Niveles más bajos, pendientes y secciones menos efectivas que el anterior	0.04	0.048	0.055
f. Más piedras que el anterior	0.045	0.05	0.06
g. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.05	0.07	0.08
h. Tramos muy enmalezados, con pozos profundos o canales de inundación con vegetación densa	0.07	0.1	0.15
<b>2. Llanuras de inundación</b>			
a. Pastizales sin arbustos			
- Hierba corta	0.025	0.03	0.035
- Hierba alta	0.03	0.035	0.05
b. Áreas cultivadas			
- Sin cultivo	0.02	0.03	0.04
- Cultivos en hilera maduros	0.025	0.035	0.045
- Cultivos de campo maduros	0.03	0.04	0.05
c. Arbustos			
- Arbustos dispersos, malezas densas	0.035	0.05	0.07
- Arbustos y árboles ligeros, en invierno	0.035	0.05	0.06
- Arbustos y árboles ligeros, en verano	0.04	0.06	0.08
- Arbustos medianos a densos, en invierno	0.045	0.07	0.11
- Arbustos medianos a densos, en verano	0.07	0.1	0.16
d. Árboles			
- Terreno despejado con tocones de árboles, sin rebrotes	0.03	0.04	0.05
- Igual que el anterior, pero con rebrotes abundantes	0.05	0.06	0.08
- Abundante vegetación arbórea, pocos árboles caídos, escasa vegetación bajo ellos	0.08	0.1	0.12
- Igual que el anterior, pero con flujo hacia las ramas	0.1	0.12	0.16
- Sauce denso, en verano, recto	0.11	0.15	0.2

## CAPITULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

La región denominada Quebrada Cupisnique, en la ciudad de San Pedro de Lloc, provincia de Pacasmayo, departamento de La Libertad, con coordenadas UTM WGS 84 - Zona: 17S, pertenece al área de evaluación.

*Figura N°11: Ubicación geográfica de la cuenca del Río Chilco.*



El campo de estudio comprende la ciudad de San Pedro de Lloc, áreas de cultivo (Empresa Gandules), principales vías de transporte como la “Panamericana Norte” y “El sol”, el punto para la delimitación de la cuenca corresponde al Pontón del KM 662 + 072, que fue el punto de colapso del Río Chilco.

**Tabla 7**  
**Ubicación del Pontón**

<b>PUNTO</b>	<b>ZONA</b>	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>
Pontón del KM 662 + 072	UTM (WGS 84) / Zona17s	672222.9760m	9174427.0495m

**Figura.N°12: Vista frontal del Pontón del KM 662 + 072**



## **POBLACIÓN**

Los datos del XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas o Censo Peruano de 2017 (Inei, 2017) indican que en el centro poblado de San Pedro de Lloc habitan 17,637 personas, quienes cuentan con acceso a alcantarillado, energía eléctrica y agua pública.

## **Accesibilidad**

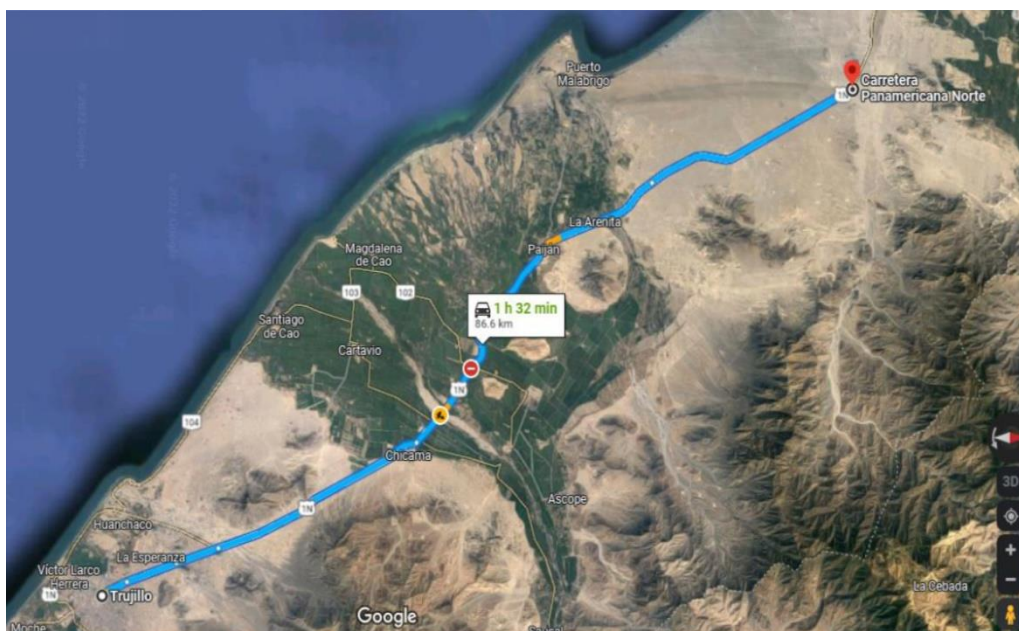
La carretera Panamericana Norte (tramo Trujillo - Pacasmayo) permite el acceso terrestre al poblado desde la ciudad de Trujillo, como lo indica la siguiente ruta. (Figura 13):

**Tabla 8**

**Ubicación e ingreso a la zona de estudio.**

Ruta	Tipo de Vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Trujillo – Quebrada Cupisnique (PE-1N)	Asfaltada	86.6	1.30 horas

**Figura N°13: Ruta de acceso desde la Trujillo hasta la localidad de Quebrada Cupisnique.**  
**Fuente: Google Maps.**



**Figura N°14: Zona de estudio con problema de inundación.**



### **3.2. RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

#### **INFORMACIÓN RECOPIADA EN LA VISITA DE CAMPO**

Las visitas de campo se realizaron en tres ocasiones siendo el objetivo principal hacer el reconocimiento de la zona de estudio y recopilar información extra para desarrollar el modelamiento.

- La primera visita en campo, consistió en visitar las estaciones meteorológicas locales cercanas al área de estudio, que son las ciudades de Casa Grande y Guadalupe, obteniendo data de las precipitaciones ocurridas en el año 2017.
- La segunda visita de campo se realizó con la compañía del Sñr. Marvin Sánchez Castillo, Gerente de Turismo 2015-2018 de la provincia de Pacasmayo, donde se reconoció la zona de estudio y el emplazamiento de la inundación del año 2017, tomando registro fotográfico y señalización de las zonas inundadas.
- La última visita de campo, donde se realizó en el levantamiento topográfico del tramo estratégico del Rio Chilco, también realizo las mediciones de las estructuras (Pontón, alcantarillas) que intervendrán en el modelamiento Hidráulico.

Esta información adquirida será fundamental para complementar el modelamiento hidrológico e hidráulico, además las vistas fotográficas y entrevista realizadas en este proceso servirán para darle validación al modelo hidráulico a través de la simulación de la inundación del año 2017.

*Figura.N°15: Visita de Campo a la zona de estudio*



## TOPOGRAFIA Y CARTOGRAFÍA

Se ha utilizado la interfaz LAND VIEWER, la herramienta web más reciente creada por EOS Inc. (EOS son las siglas de Earth Observing System), una potente plataforma que proporciona acceso gratuito a un gran número de imágenes de los satélites Landsat 8 y Sentinel-2, con el fin de recopilar los datos necesarios para el proceso topográfico.

El hecho de que emplee combinaciones de bandas diseñadas para extraer determinados tipos de datos de las imágenes es una de sus muchas ventajas. Cualquier imagen de satélite puede arrojar datos diferentes aplicando distintas combinaciones a la misma zona de interés.

Su función de mosaico garantiza que no se pase por alto ninguna parte de interés. Genera toda la información necesaria simplemente combinando las fotos de satélite más recientes obtenidas desde el mismo sensor en un lugar determinado, cubriendo toda la zona de interés.

Los MDE de este estudio se obtuvieron a través de la misma interfaz, que puede consultarse en <https://eos.com/landviewer>.

Se realizó también un levantamiento topográfico con estación total de la superficie de drenaje que abarca la región de interés del canal intermitente y la llanura de inundación, cubriendo una longitud del río Chilco de 1076,4 metros..

*Figura.N°16: Levantamiento topográfico del Río chilco.*



*Figura N°17: Río Chilco – zona de estudio*



## **HIDROLOGÍA**

### ✓ DELIMITACIÓN DE LA CUENCA DEL RIO CHILCO

Para definir una cuenca se utiliza imaginariamente una línea que separa el drenaje entre cuencas continuas.

Para definir los márgenes de la cuenca del Chilco se tuvieron en cuenta los siguientes factores

1. Se localizó el sistema primario de drenaje.
2. Considerando que la línea imaginaria divisoria cortara perpendicularmente a las curvas de nivel, la divisoria de aguas debería proyectarse en los puntos topográficos más altos.
3. La línea imaginaria divisoria no cruzara ningún río o canal de drenaje.



*Figura N°18: Mapa de estaciones meteorológicas.*



Utilizando AutoCAD Civil 3D y ArcGIS 10.8, se demarcó la cuenca hidrográfica del río Chilco.

✓ PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

Los datos para esta tesis fueron procesados utilizando aplicaciones informáticas como Excel, ArcGIS 10.8 y AutoCAD Civil 3D. Adicionalmente, se aplicaron fórmulas matemáticas que definen los diferentes parámetros geomorfológicos de la cuenca hidrográfica del Río Chilco, como:

- PARÁMETROS DE FORMA
  - a. Tamaño y perímetro de la cuenca.
  - b. La longitud del río principal (L).
  - c. Ancho promedio de la cuenca

d. Índice de compacidad (coeficiente de Gravelius)

e. Relación de elongación y factor de forma.

- PARÁMETROS DE RELIEVE

a. Curva hipsométrica.

b. Elevación media.

c. Rectángulo equivalente

d. Índice de pendiente

e. Pendiente media de la cuenca

- PARÁMETROS RELATIVOS A LA RED HIDROGRÁFICA

a. Numero de Orden de un cauce.

b. Densidad de drenaje

- ✓ ANALISIS PLUVIOMETRICO

En la presente zona de estudio, no se cuenta con información con datos de una estación Hidrométrica, por lo cual se ha optado en usar el método Precipitación-Escorrentia para determinar el caudal máximo del evento del 2017.

La información pluviométrica analizada en el presente estudio está conformada por los datos disponibles de precipitaciones máximas en 24 horas de las Estaciones La Talla y Casa Grande, del año 2017, ubicadas en el departamento de la Libertad en la ciudad de Guadalupe y Casa Grande, respectivamente, administrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI., sus principales características se indica en el siguiente cuadro.

**Tabla 9**  
**Estación Pluviométrica.**

<b>Estación</b>	<b>Departamento</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Año de Registro</b>
ESTACIÓN "LA TALLA" - GUADALUPE	LA LIBERTAD	7° 16' 48.33"	79° 25' 8.61"	117 MSNM	2017
"CASA GRANDE"	LA LIBERTAD	7° 45.11'	79° 11' 19.3"	142 MSNM	2017

## CAUDALES MÁXIMOS

El caudal máximo de avenida sintético se determinó mediante el método del hidrograma unitario adimensional del SCS, que incluye el tratamiento de las intensidades máximas registradas en las estaciones meteorológicas de estudio para el año correspondiente, así como el cálculo del coeficiente de escorrentía ponderado y del área de la cuenca. Para la obtención del caudal máximo de avenida se utilizó el software HEC HMS.

## MODELAMIENTO HIDROLÓGICO HEC-HMS

- ✓ **MODELO DE CUENCA:** Para empezar a modelar, hay que crear un nuevo proyecto en HMS e importar los datos geoespaciales de procesamiento, incluyendo la cuenca, los cruces, los canales y salidas. Teniendo en cuenta el sistema de coordenadas y las unidades de localización del proyecto. El modelo de pérdidas (método del número de curva SCS), el modelo de transformación de precipitación efectiva a escurrimiento (método del hidrograma unitario SCS) y el modelo de flujo base (el flujo base no fue considerado en este evento de inundación) son los submodelos que se tomaron en consideración para crear el modelo de la cuenca del río Chilco.
- ✓ **MODELO METEOROLÓGICO.** Se introdujo en el modelo meteorológico el hidrograma preciso de inundación para una tormenta de diseño de 24 horas de duración. Se tuvo en cuenta la ocurrencia excepcional de 2017.

- ✓ **ESPECIFICACIONES PARA EL CONTROL.** Las fechas de inicio y fin del evento deben ser suministradas para que el software complete los cálculos dentro del periodo e intervalo que fueron especificados en este componente.
- ✓ **EJECUCIÓN Y ANÁLISIS DE LA SIMULACIÓN.** Una vez completados los procedimientos anteriores e iniciada la simulación, HEC-HMS deberá calcular la respuesta hidrológica a partir de los datos proporcionados. Tras la ejecución del proceso, se examinan diversos resultados, incluidas las curvas de duración y los hidrogramas de caudal.

## MODELAMIENTO HIDRÁULICO HEC-RAS E IBER

El tramo estratégico seleccionado del río Chilco se simuló con los softwares de modelamiento HEC RAS e IBER. Estos softwares modelizan el flujo en cauces naturales con régimen permanente gradualmente variado para simular los niveles de agua ante un caudal.

- Configuración geométrica

La importación del fichero de geometría en formato sdf inicia la simulación de la zona estudiada. Luego, se determinan los coeficientes de contracción y dilatación, junto con los valores del coeficiente de rugosidad de Manning, mediante el análisis de la geometría. Se describen a continuación los factores que se han tenido en cuenta a la hora de elaborar los datos geométricos:

. **Datos topográficos:** Los datos topográficos con formato shape se definen en el Datum WGS-1984 y el sistema de proyección UTM 17S.

. **Seccionamiento hidráulico:** La longitud del río a modelizar es de 1076,4 m, ya que el segmento en estudio comienza 550 m aguas arriba del pontón KM 662 y termina 526,4 m aguas abajo del pontón.

. Los coeficientes de rugosidad de Manning: Por la metodología de Cowan, se determinaron las propiedades físicas del río.

. Configuración de estructuras: Dentro del tramo estratégico se encuentra un pontón y seguido a este una alcantarilla. Para su inserción en el modelo hidráulico se consiguieron los datos y medias de diseño exactos, para un mejor resultado.

- Condiciones iniciales

Ya que se requiere simular la huella hídrica de la inundación ante la máxima avenida del año 2017, se ha optado por modelar en flujo permanente fijando como dato solo el caudal pico.

- Calibración del modelo

Se tuvo en cuenta el evento del 18 de marzo del 2017, evento que registra información contundente y verídica para realizar la calibración del modelo. Teniendo registro de la huella hídrica, información recaudada por registro fotográfico y evaluación del área con el Sñr. Marvin Sánchez Castillo, Gerente de Turismo 2015-2018 (Provincia de Pacasmayo), este proceso básicamente consistió en calibrar el número de Manning de las distintas áreas de la zona de estudio.

- Análisis de Resultados

Este último paso implica el análisis de los resultados mediante las herramientas de visualización Hec RAS e IBER, incluyendo mapas de velocidad, profundidad del agua, zonas inundadas, etc. Una vez aprobados, los resultados se exportan a formatos compatibles con SIG o a otras herramientas de análisis para realizar análisis adicionales.

## CAPITULO 4: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### CARACTERIZACIÓN DEL RIO CHILCO

Las características propias del Rio Chilco, son de suma relevancia para poder predecir o simular el comportamiento del flujo de agua, teniendo en cuenta dichas características para el análisis ante eventos extraordinarios.

- Por su edad. Se define al rio chilco, como un rio viejo, por las siguientes características observadas: El área de estudio se ubica en la extensión de un amplio valle, no se ha observado ningún cambio brusco de pendiente o alguna rápida, y su pendiente es relativamente baja.
- Por su pendiente. la pendiente promedio del tramo estratégico estudiado es de 1.10%, en tal sentido podemos decir que se trata de un rio con pendiente baja, el rio Chilco en toda su extensión es muy parecido en su pendiente, al tramo estudiado.
- Por el tipo de fondo. Por lo observado en campo el rio Chilco, se define con un fondo de lecho aluvial, caracterizándose por presentar evoluciones morfológicas constantes y elevadas porcentaje de transporte de sedimentos.
- Por forma en planta. El tramo estudiado de rio es clasificado como un rio recto, con una extensión de 1076 metros, pero cabe resaltar que en toda la extensión del rio Chilco, nos encontramos con una definición de rio entrelazado, siendo altamente inestable y de comportamiento impredecible, cuando está activo.
- Por sinuosidad. El tramo estratégico de estudio se define como un río recto, ya que presenta un valor de 1.071 en términos de sinuosidad.

- Por su grado de libertad. El río Chilco en toda su extensión, es definido como un río con tres grados de libertad, donde varía tirante, pendiente y ancho, reforzando la definición de ser un río entrelazado con un ancho muy variable a lo largo de su recorrido.
- Por su tamaño y forma de material. Según la visita de campo, se registra más porcentaje de partículas de limo y arcilla, y en menor presencia gravas y arenas.
- Por su actividad. El río Chilco está definido como un río efímero, ya que solo se encuentra activo en episodios de fuertes precipitaciones.

### MODELAMIENTO HIDRÓLOGICO

La cuenca investigada, ubicada en la región La Libertad, fue definida utilizando cartas topográficas digitales, AutoCAD Civil 3D y el software ArcGIS 10.8. Se utilizó como punto de cierre del estudio el punto medio del levantamiento topográfico realizado sobre el río Chilco a la salida de la ciudad, zona donde se han producido inundaciones cada vez que el río se ha activado por lluvias máximas.

*Figura N°19: Delimitación de la Cuenca del Rio Chilco*



*Tabla 10  
Parámetros geomorfológicos de la cuenca hidrográfica*

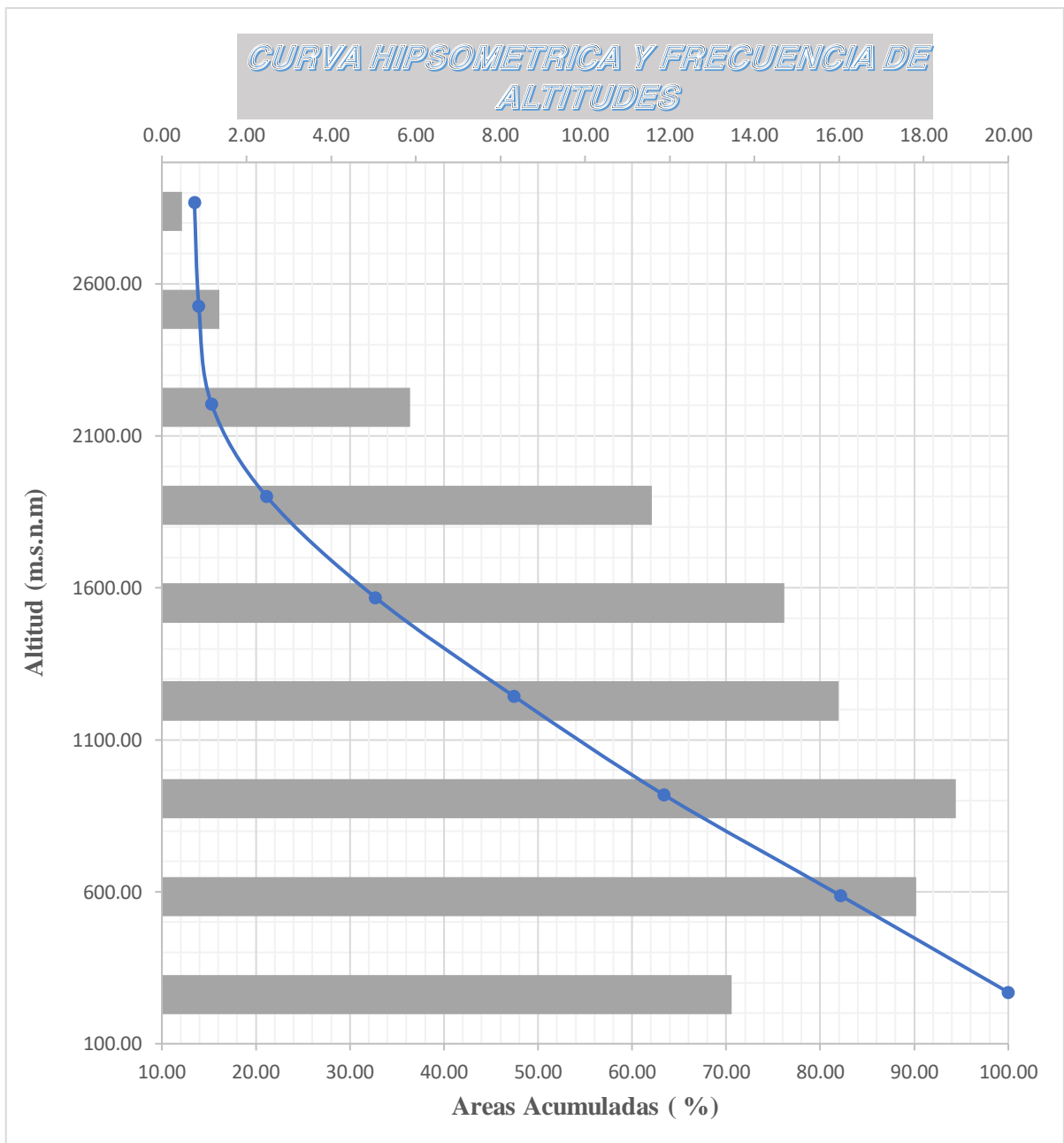
<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Area de la Cuenca	Km <sup>2</sup>	503.1918
Perimetro	Km	126.1473
Tiempo de concentración	Horas	5.35
<b>PARÁMETRO DE FORMA</b>		
Factor de forma		0.122
Coeficiente de Compacidad (Gravelius)		1.59
<b>Rectángulo equivalente</b>		
Lado mayor	Km	53.70
Lado menor	Km	9.3697
Longitud del máximo recorrido	Km	64.31
Densidad de drenaje		0.001784



PARÁMETRO DE RELIEVE

<i>Cota máxima</i>	<i>m.s.n.m</i>	3058.95
Cota mínima	m.s.n.m	93.025
Altitud media	m.s.n.m	1579.989
Altitud más frecuente	m.s.n.m	918.38
Pendiente de la cuenca	%	18.08531605
Pendiente del cauce principal	%	4.61

**Figura 20: Curva Hipsométrica de la Cuenca del Rio Chilco.**



### **Análisis Y Discusión De Resultados:**

Los datos geomorfológicos de la cuenca del Rio Chilco, se encuentran en la tabla N°14, donde se muestran los parámetros de definición de la cuenca, así como parámetros de forma y relieve. Se define la cuenca con un área de 503.1918 Km<sup>2</sup> y un perímetro de 126.14 Km. Sobre los parámetros de forma podemos concluir que por su factor de forma de la cuenca es muy poco achatada, y por su coeficiente de compacidad está definida como una cuenca oval oblonga a una rectangular oblonga.

El tiempo de concentración de la cuenca del Rio chilco es de 5.35 horas, dato que denota el tiempo de respuesta de la cuenca ante precipitación máximas, siendo un índice fundamental para el análisis de tales eventos.

De la curva hipsométrica de la cuenca del río Chilco es posible deducir que corresponde a una cuenca sedimentaria geológicamente madura y en fase de vejez.

Es evidente que la mayor parte de la cuenca se encuentra por encima de los 1100 metros sobre el nivel del mar, siendo muy escasa la parte situada por debajo de los 600 metros. La distribución del calor, los microclimas, la composición del suelo, el régimen de precipitaciones y el hábitat actual se ven afectados por esta variación altitudinal.

### **PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 HORAS (mm)**

**Tabla 11**  
**Precipitación máxima de 24 horas, año 2017.**

<b>Año</b>	<b>La Talla</b>	<b>Casa Grande</b>	<b>Pp max 24Hr (Promedio)</b>
2017	227.58 mm	141.98 mm	193.01 mm

La precipitación máxima promedio en 24 horas, de la cuenca del Rio Chilco en el año 2017, se ha obtenido mediante el método de los Polígonos de Thiessen, con la ayuda del software ArcGIS 10.8, observando mayor área de incidencia para la estación de la Talla por la misma cercanía al punto de análisis para el modelamiento.

*Figura 21: Polígonos de Thiessen*



### CREACIÓN DEL HIETOGRAMA DE DISEÑO

*Tabla 12*

*Intensidades para un periodo de 2 horas*

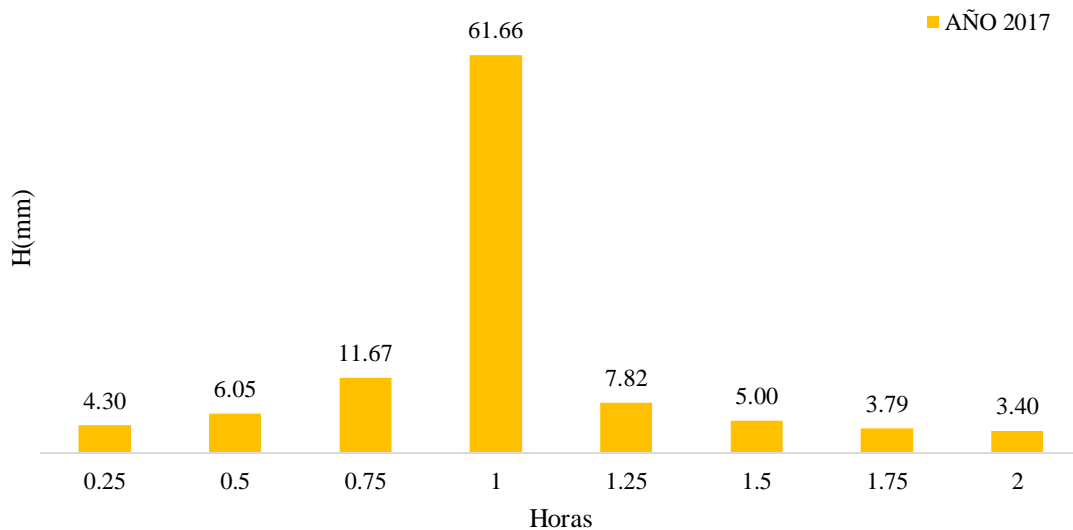
Pp máx	Imáx (mm/h) - duración (min)							
	15	30	45	60	75	90	105	120
193.01	246.64	146.66	108.20	87.20	73.76	64.34	57.31	51.85

De acuerdo a lo explicado en nuestra teoría, las precipitaciones de la tabla anterior se distribuyeron en un intervalo de tiempo de dos horas haciendo uso del método de los Bloques Alternos. En la Tabla 12 se presenta el hietograma de diseño para el evento extraordinario del 2017.

**Tabla 13**  
**Elaboración del hietograma de diseño**

<b>Duracion. (h)</b>	<b>0.25</b>	<b>0.5</b>	<b>0.75</b>	<b>1</b>	<b>1.25</b>	<b>1.5</b>	<b>1.75</b>	<b>2</b>
<b>Imáx (mm/h)</b>	246.64	146.66	108.20	87.20	73.76	64.34	57.31	51.85
<b>Pp (mm)</b>	61.66	73.33	81.15	87.20	92.21	96.51	100.30	103.70
<b>h(mm)</b>	61.66	11.67	7.82	6.05	5.00	4.30	3.79	3.40
<b>h alternado</b>	4.30	6.05	11.67	61.66	7.82	5.00	3.79	3.40

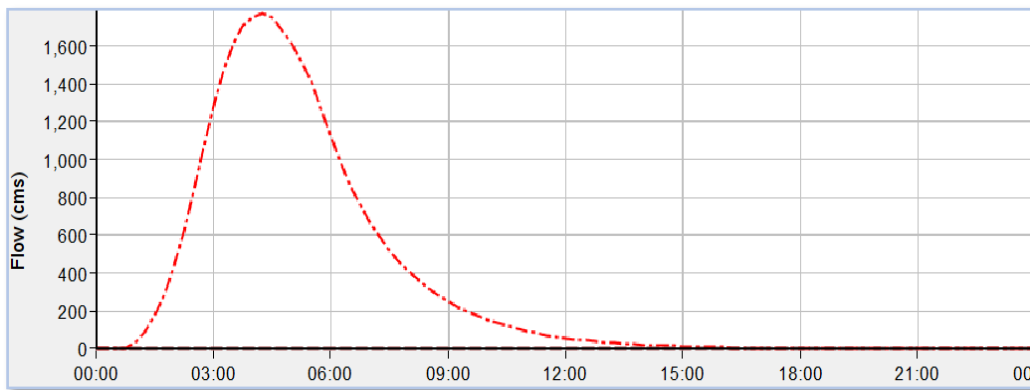
**Figura 22: Grafico para el hietograma de diseño**



## GENERACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO – HEC HMS

El resultado del procesamiento del software Hec-HMS son los hidrogramas que muestran la relación caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | tiempo(hr), en nuestro caso para el evento extraordinario registrado en el año 2017.

**Figura 23: Hidrograma generado por el software Hec-HMS**



Para el evento evaluado, se muestra un caudal pico de  $1771.7 \text{ m}^3/\text{s}$ , ocurriendo este suceso a las 4:15 horas de un intervalo de 24 horas, donde suceda la máxima descarga.

## CARACTERIZACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LAS ÁREAS INUNDABLES

- ASIGNACIÓN DE RUGOSIDAD

Los valores siguientes se han clasificado basándose en la tabla N°12, que enumera los valores del coeficiente de rugosidad de Manning, y en la tabla N°6, que enumera los coeficientes que recomienda el programa HEC RAS:

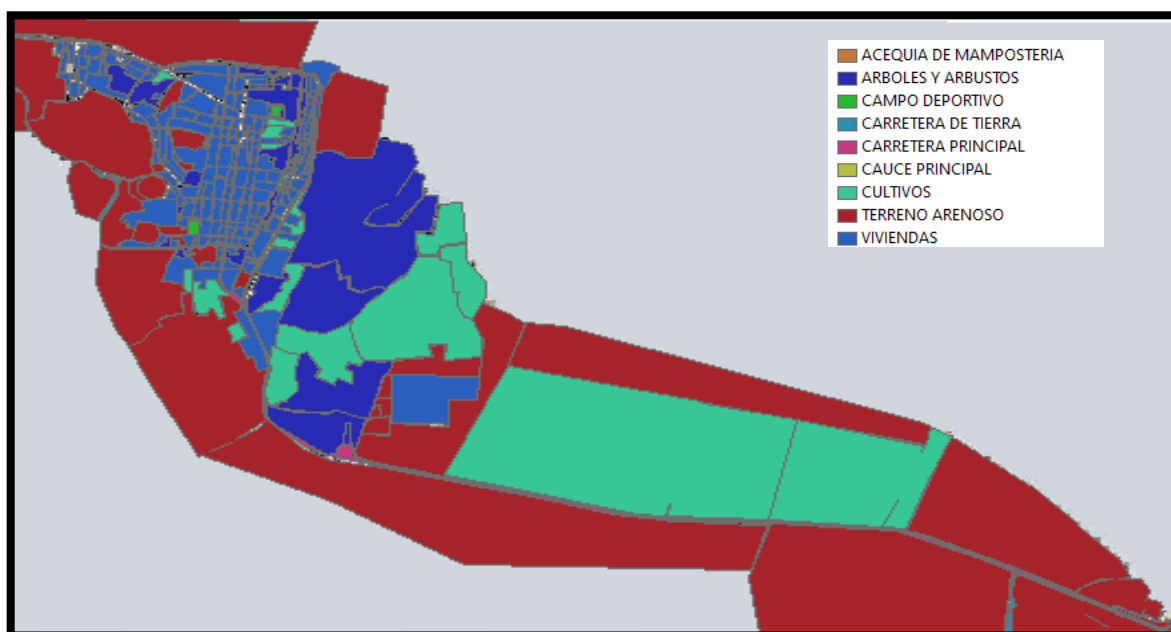
**Tabla 14**

**Selección de rugosidad de Manning**

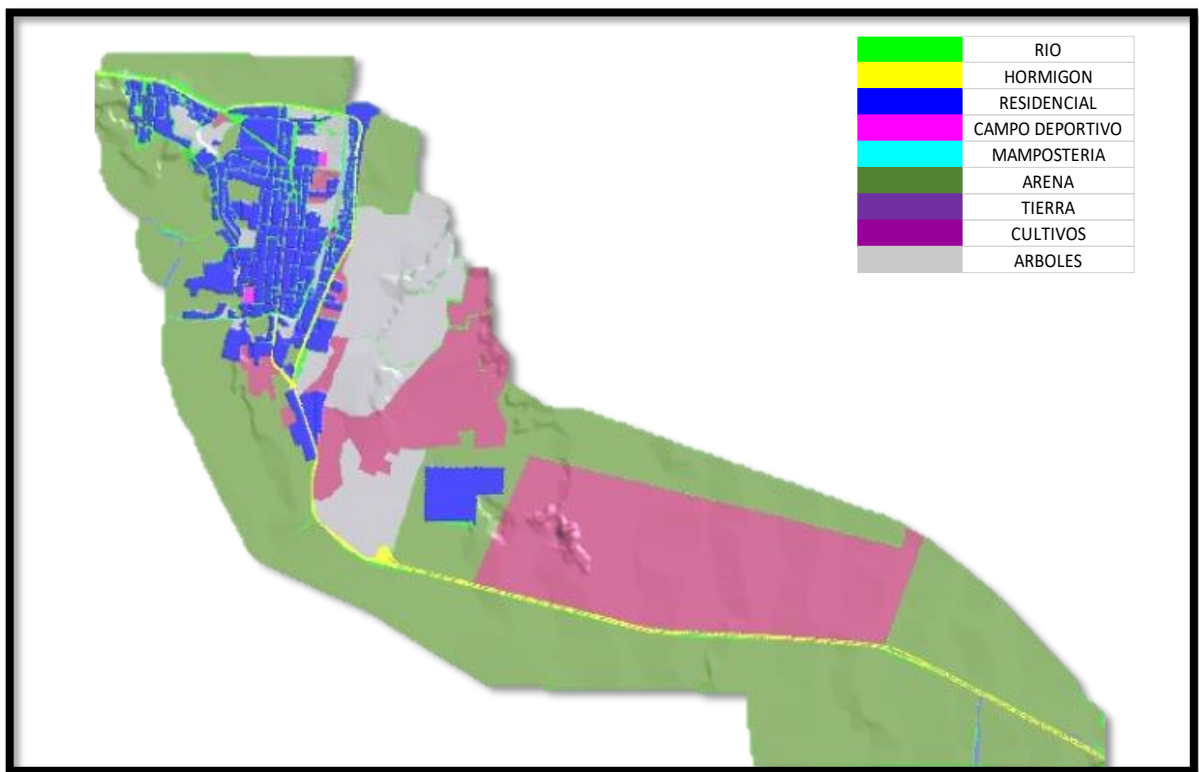
<b>Nombre</b>	<b>Manning</b>
Cauce principal	0.035
Campo deportivo	0.03
Acequia	0.025
Carretera Principal	0.016
Terreno arenoso	0.02
Carretera de tierra	0.022
Cultivos	0.04
Viviendas	4
Árboles y arbustos	0.1

El coeficiente de Manning para el canal primario se determinó verificando visualmente sus diversos atributos físicos utilizando la metodología de Cowan; para los valores subsiguientes, se determinó realizando un reconocimiento minucioso del área y asignando valores basados en la descripción de la tabla suministrada por el programa Hec-RAS.

**Figura. 24: Asignación de rugosidad para la malla en HEC RAS**



*Figura. 25: Asignación de rugosidad para la malla en IBER*

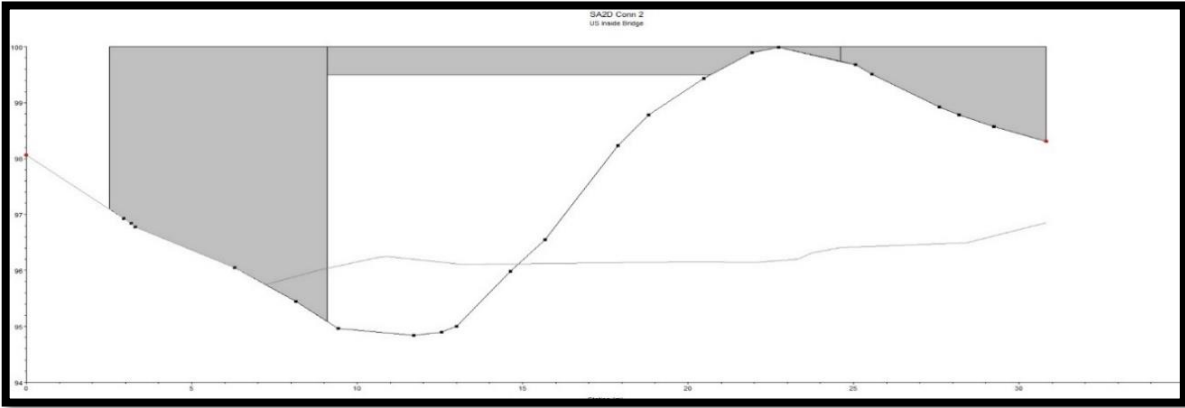


#### ANÁLISIS DE ÁREAS DE INUNDACIÓN - HEC RAS / IBER

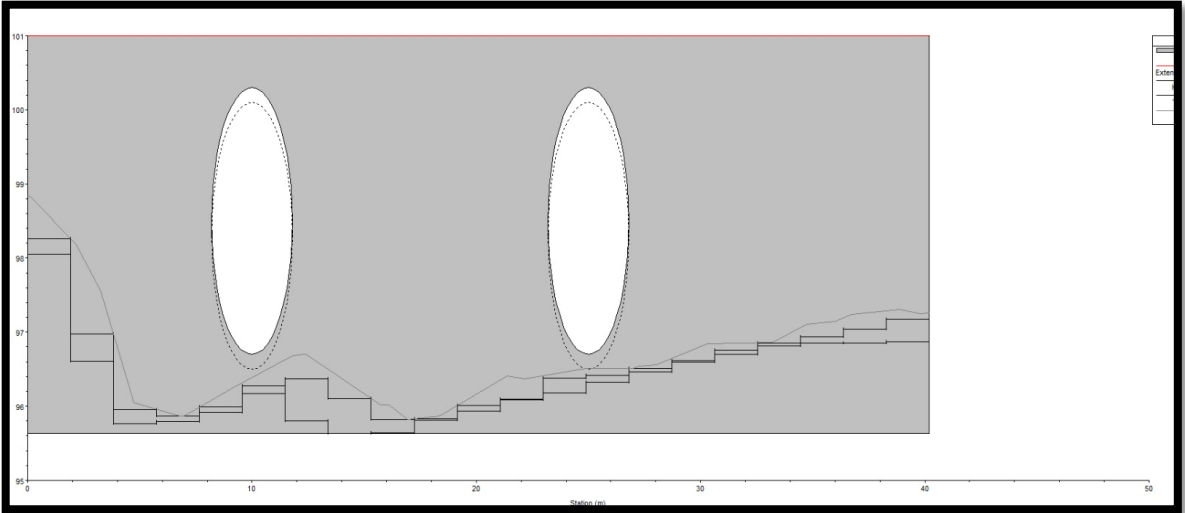
Para tener un mejor resultado por parte del programa se calibro el software en comparación a la huella hídrica registrada por pobladores de la zona que siguieron de cerca el fenómeno y registro fotográfico suscitado en el año 2017, así como la vivencia personal del tesista con residencia en la propia zona donde se suscitó el fenómeno.

Se tuvo también en cuenta las dimensiones y la intervención, que tienen las dos estructuras seguidas, que son el pontón en el Km 662+072 y las alcantarillas elipsoidales, para poder tener una simulación mucho más realista.

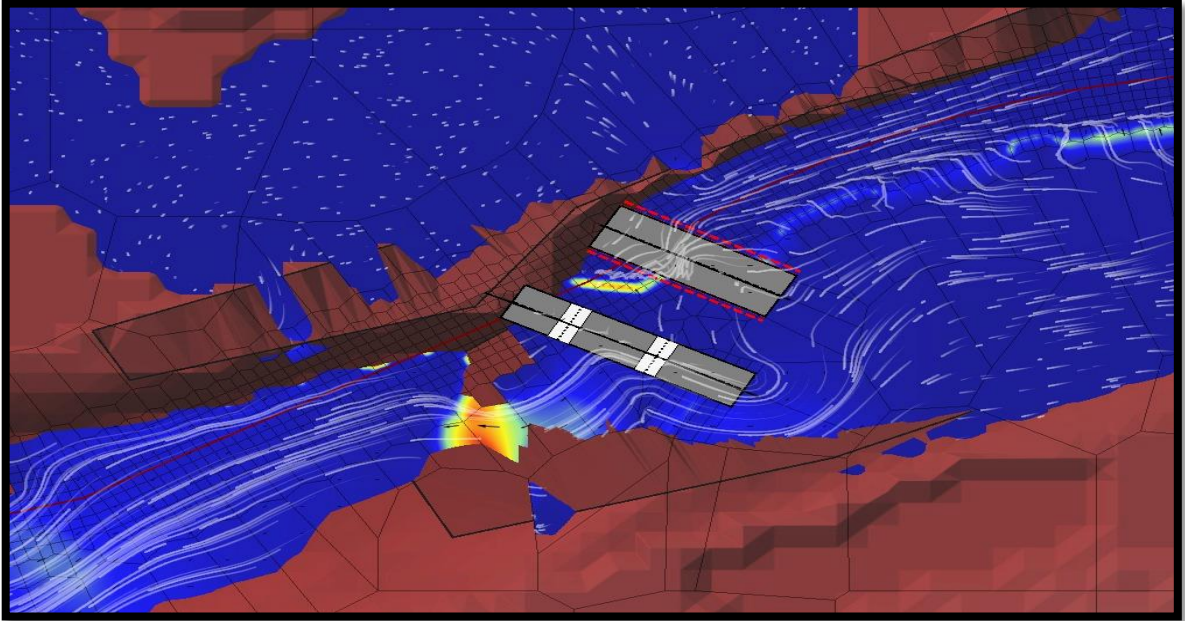
**Figura. 26: Perfil en 2D del pontón – HEC RAS**



**Figura. 27: Perfil en 2D de las alcantarillas elipsoidales – HEC RAS**



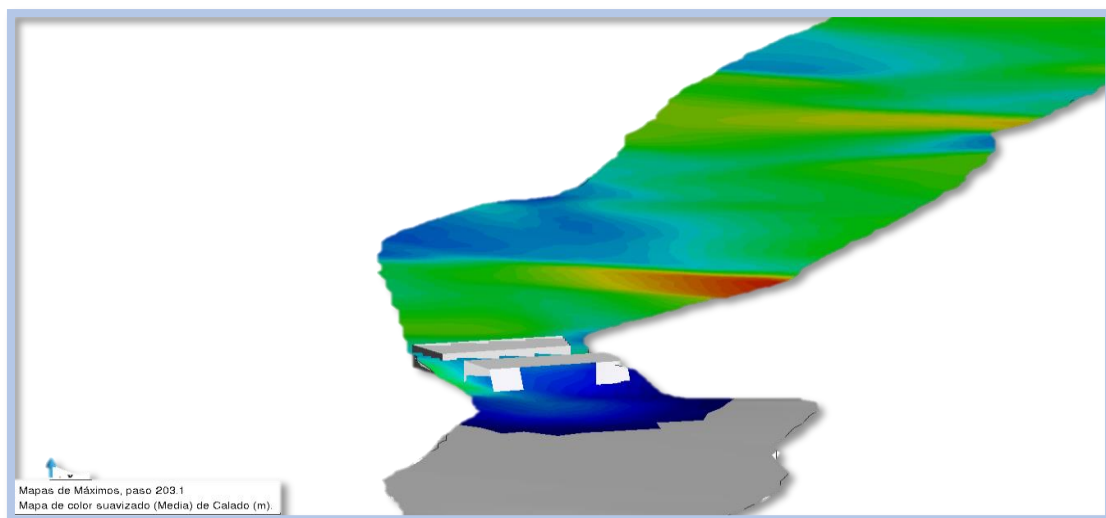
**Figura. 28: Vista en planta del modelamiento en 2D con visualización de líneas de flujo – HEC RAS**





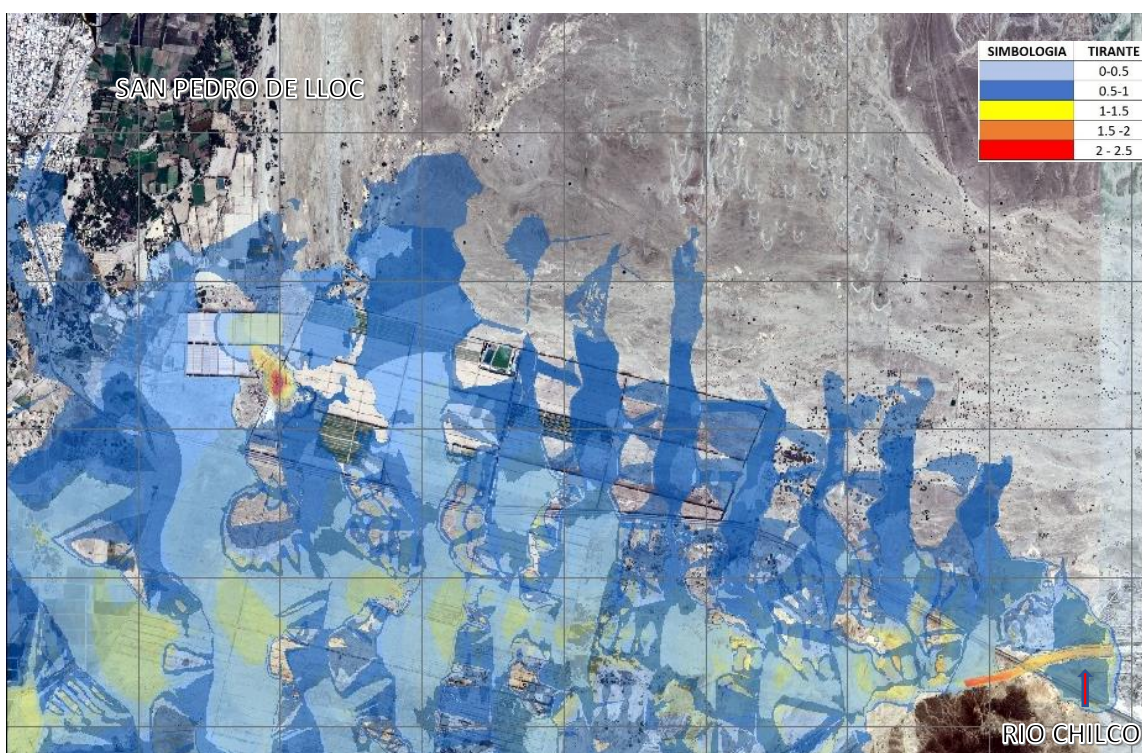
Así como se detalló la intervención de las dos estructuras hidráulicas en el software HEC RAS, se realizó el mismo proceso en el software IBER, con la intención de darle las mismas características de estudio para una comparación final.

**Figura 29: Vista en 3D de las estructuras hidráulicas - IBER**

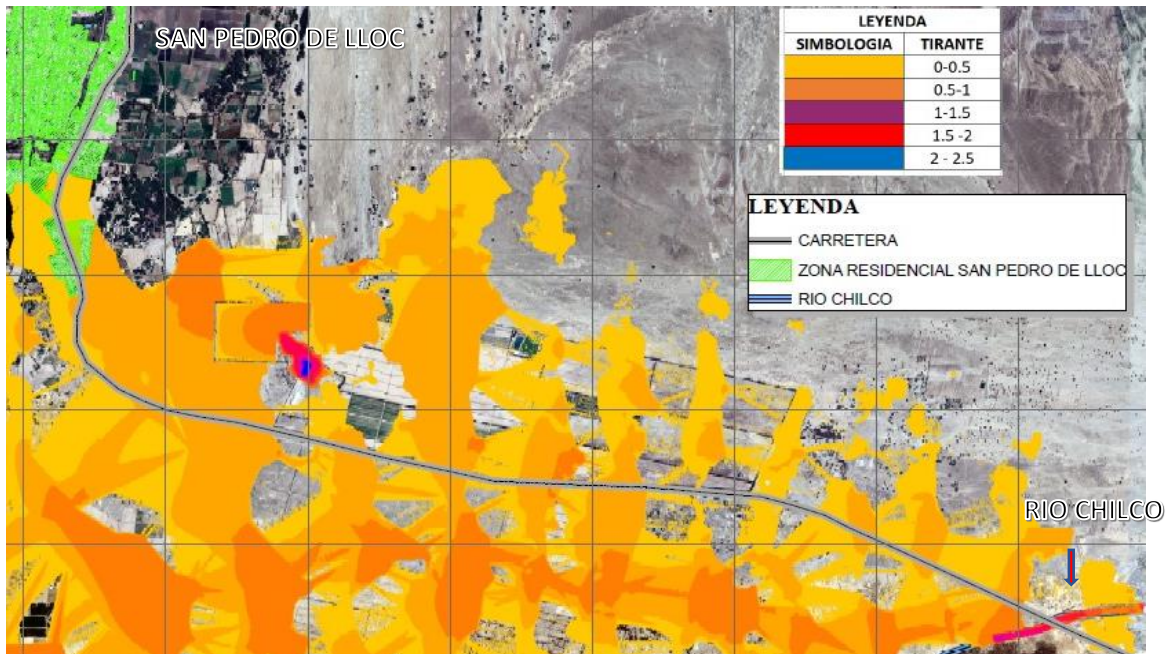


A continuación, se muestran los resultados de inundación de los dos softwares, teniendo como hidrograma de entrada el resultante del modelamiento hidrológico, con un caudal pico de 1771.7 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 30: Tirantes y emplazamiento de la inundación en HEC RAS**

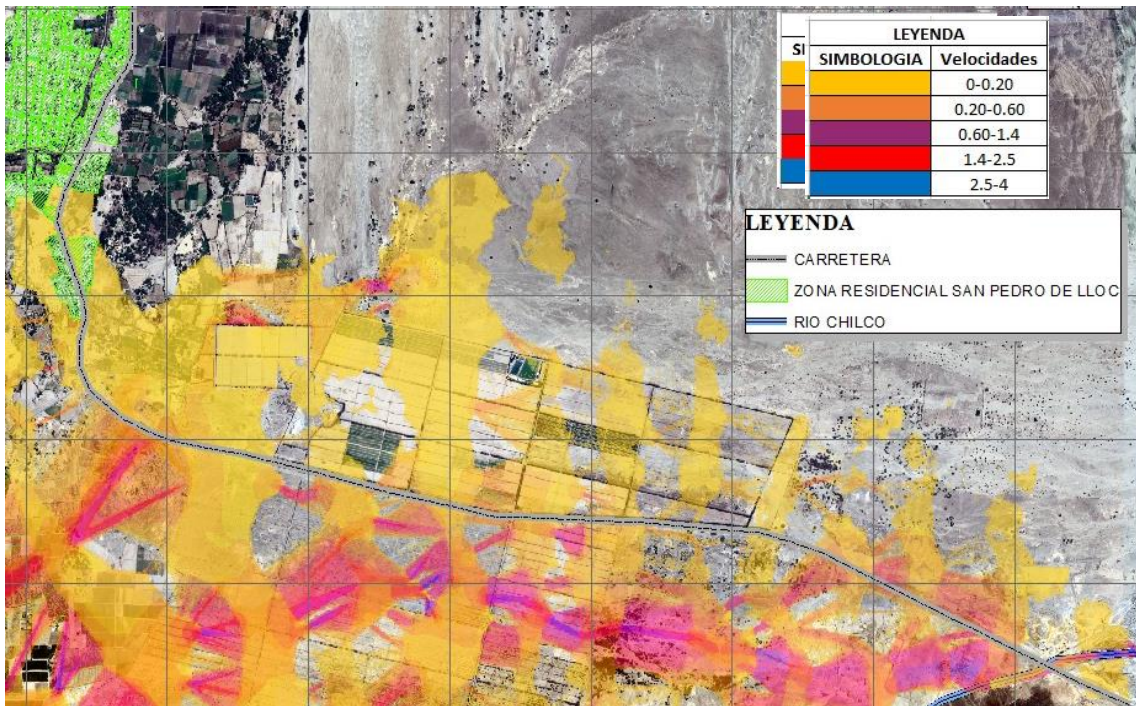


**Figura 31: Tirantes y emplazamiento de la inundación en IBER**

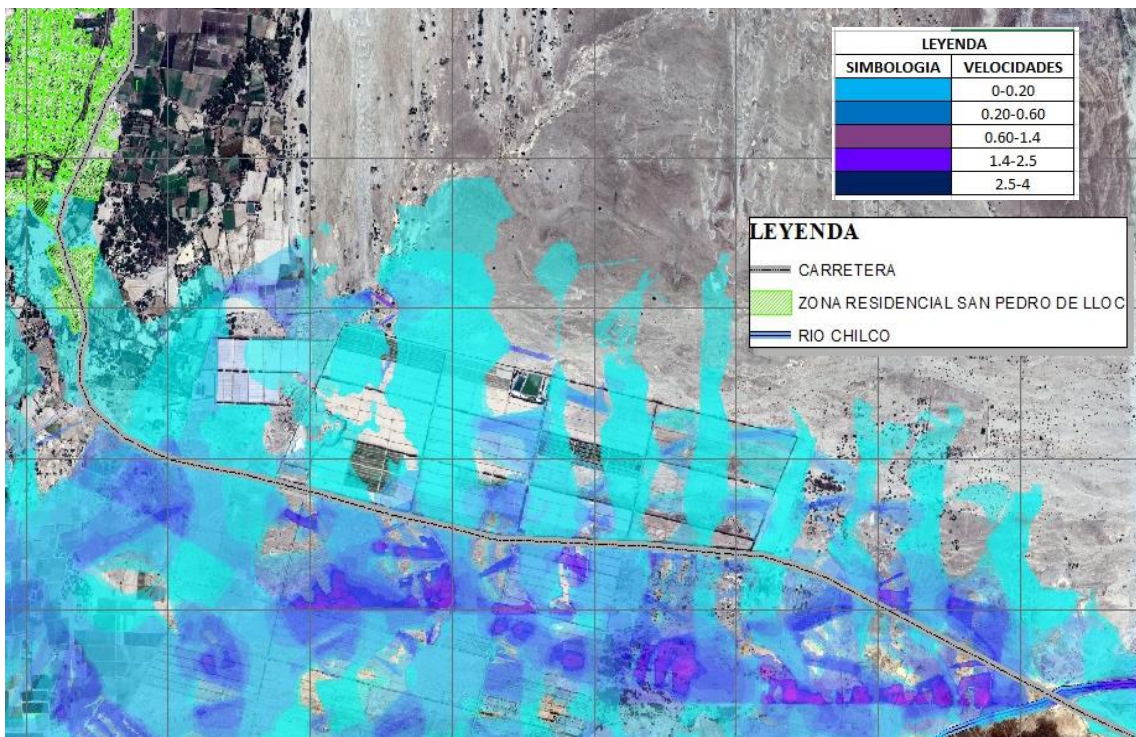


Para este caso probabilístico del ultimo evento registrado , donde el caudal máximo calculado es de  $1771.7 \text{ m}^3/\text{s}$  , se observa tirantes entrantes a la ciudad con 1 metro de altura ,tal como se tiene presente en el registro fotográfico, en abarcamiento de territorio se observa la llegada del caudal hasta la zona agropecuaria de Gandules y gran expansión al margen izquierdo de la panamericana central donde solo se ve afectado terreno sin población, con tirantes variables entre 0.5 a 1.5 m. La diferencia que no es muy notable es la expansión del caudal por parte del software HEC RAS, al tener un mejor procesamiento de la información topográfica. En términos de velocidad como se muestran en las figuras 31 y 32, se visualiza velocidades mínimas entrantes a la ciudad de San Pedro de Lloc ( $0 - 0.2 \text{ m/s}$ ) , se ve más velocidad ( $1.5 - 4 \text{ m/s}$ ) al margen izquierdo de la carretera con dirección a la ciudad por las misma forma del terreno y expansión de áreas libres.

**Figura 32: Velocidades en la inundación en IBER**

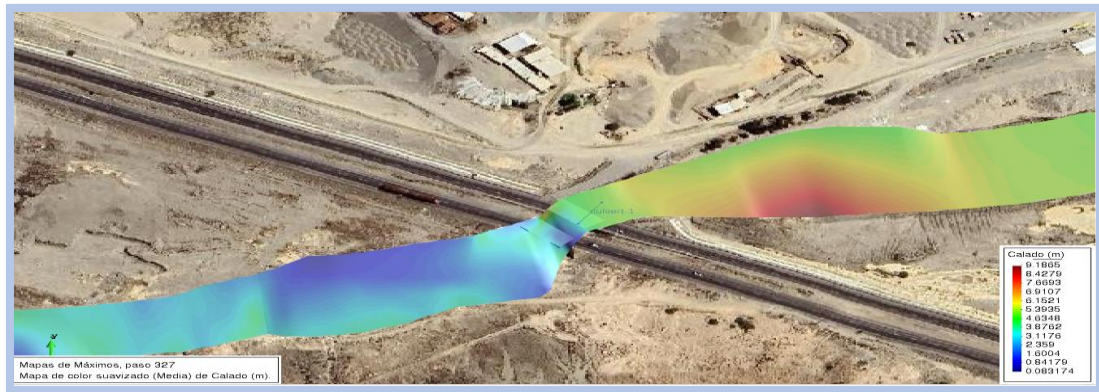


**Figura 33: Velocidades en la inundación en HEC RAS**



## ANÁLISIS DE DESBORDE DEL RIO EN IBER

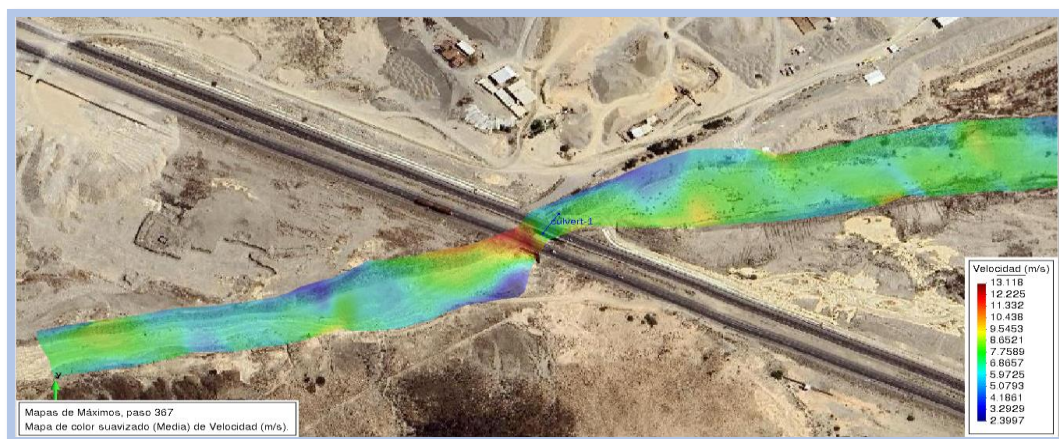
**Figura. 34: Tirantes obtenido para el evento del año 2017.**



Se puede observar que el tirante en las zonas antes de las estructuras van en aumento, inician teniendo un tirante de aproximadamente 4.63 m y luego van aumentando debido al cambio de la sección del río producido por las estructuras, llegando a tener un tirante de 9 metros en la orilla izquierda, en la orilla derecha nos encontramos con tirantes que rondan los 6 metros, zona donde se produce la inundación, al ser superados las alturas de los márgenes del río es donde se producen los daños mencionados en el modelamiento realizado anteriormente en Hec-Ras e Iber , para el evento del 2017.

Respecto a la velocidad tenemos los siguientes resultados:

**Figura. 35: Velocidades obtenidas para el evento del año 2017.**

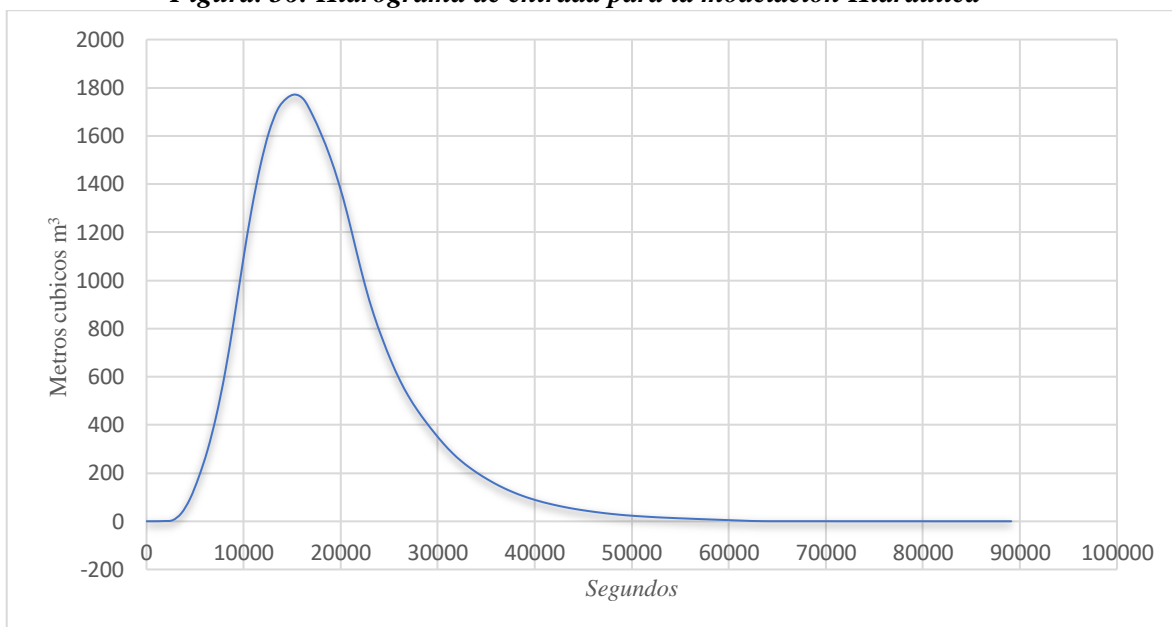


Se observa el aumento de la velocidad en la parte de salida del puente, debido al cambio de sección, estas velocidades rondan los 12.5 m/s, por ende, nos encontramos en flujo supercrítico.

## TRANSITO DE AVENIDAS EN EL CAUCE DEL RIO CHILCO

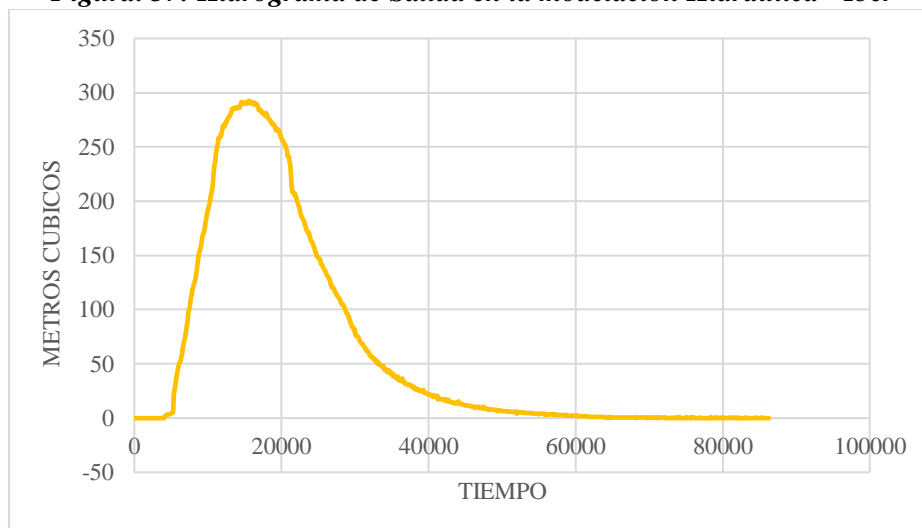
El hidrograma de entrada con el que se trabajó en los dos softwares, fue el obtenido en el modelamiento hidrológico mediante Hec HMS, teniendo un caudal pico de 1771.7 m<sup>3</sup>/s, que se muestra a continuación:

**Figura. 36: Hidrograma de entrada para la modelación Hidráulica**

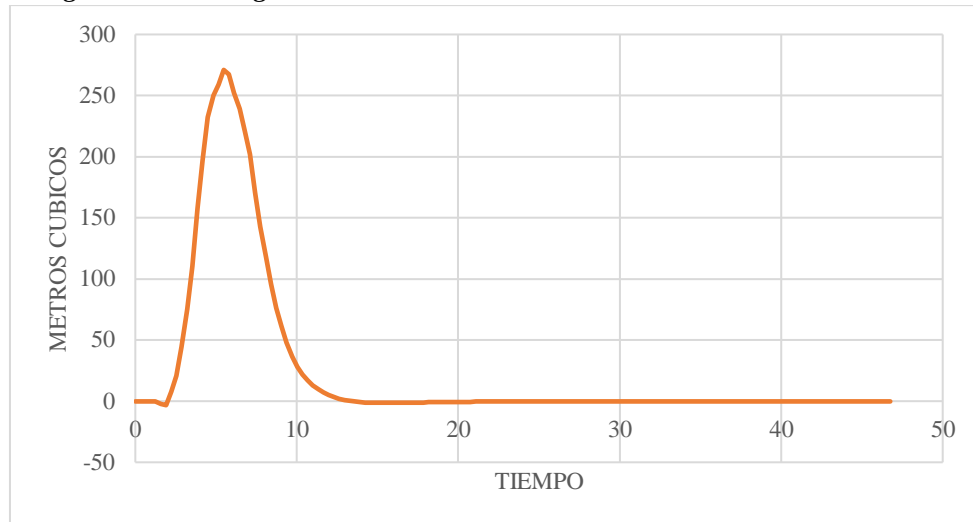


Los hidrogramas de salida fueron tomados de un punto estratégico en los dos modelamientos, al final del tramo estudiado del rio Chilco, después del evento de inundación, obteniendo los siguientes resultados:

**Figura. 37: Hidrograma de Salida en la modelación Hidráulica - Iber**



**Figura. 38: Hidrograma de Salida en la modelación Hidráulica – HEC RAS**



Del software IBER, se obtuvo el hidrograma de salida que es representado en la figura N°38 con un caudal pico de 291.098 m<sup>3</sup>/s , en cambio en el software HEC RAS ,se obtuvo el hidrograma de salida que es representado en la figura N°39 con un caudal pico de 270.981 m<sup>3</sup>/s , teniendo en cuenta el caudal pico del hidrograma de entrada ,resulta una diferencia de 1,480.602 m<sup>3</sup>/s en IBER , y una diferencia de 1,500.719 m<sup>3</sup>/s en HEC RAS, después de la inundación , viéndose reflejado esta diferencia de resultados en el emplazamiento de la inundación en los dos modelamientos. Teniendo un mayor alcance del fluido después de la calibración, el software HEC RAS.

#### PROPUESTA DE PREVENCIÓN DE INUNDACIÓN

- REFORESTACIÓN DE LA CUENCA

Si tenemos en cuenta los fenómenos del niño registrados en la ciudad de San Pedro de Lloc, teniendo como punto de comparación el evento del año 2017 con los eventos de años pasados, los efectos negativos que causaron no tienen punto de comparación, uno de los motivos evaluados en la inspección de campo, con la ayuda de ciudadanos con conocimiento del tema, es la deforestación de la zona, sobre toda en la cabecera de cuenca. Se sabe que la zona detallada años atrás al 2017, era muy abundante en arboles de zapote, espino y algarrobales, muy propios de la zona, que poco a poco iban siendo talados por

las necesidades del mismo incremento poblacional. Al proponer la reforestación de la zona, se quiere reducir la erosión del suelo y aumentar la capacidad de infiltración de la zona. Reduciendo así en un gran porcentaje la erosión de la cuenca.

- DRAGADO DE SEDIMENTOS

El dragado de sedimentos es una buena idea para preservar el cauce, pero al demandar inversión de mucho dinero y habrá que dragar varios kilómetros, no puede considerarse una solución práctica al problema de las inundaciones. También es frecuente que se acumulen depósitos sedimentarios cerca de puentes y otras estructuras que intervienen en el cauce. Esto puede provocar el colapso del pontón y la alcantarilla siendo el punto de inicio de una gran inundación, como ocurrió en nuestro caso y se documentó en 2017. En consecuencia, se aconseja retirar periódicamente la maleza y los sedimentos de una zona considerable tanto aguas arriba como aguas abajo de las estructuras mencionadas.

- EVALUACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS (PONTÓN Y ALCANTARILLA)

Teniendo como referencia el evento del 2017, se ha observado que las dimensiones tanto como del pontón y de las alcantarillas no son las adecuadas ante una activación del río ante precipitaciones máximas, además de la separación mínima (1.8 m) que tienen dichas estructuras en mención, facilitando así la acumulación de sedimentos ante un evento extraordinario. Se recomienda reevaluar las dimensiones del pontón, así como la separación de las dos estructuras continuas.

## CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

**Del Objetivo General:** Estimar las zonas de inundación en la ciudad de San Pedro de Lloc, ocasionadas por la máxima avenida del 2017 en el Rio Chilco.

- Se estimaron la zonas inundadas del territorio de estudio, que están ubicadas al margen derecho del Rio Chilco, comprometiendo, zonas de cultivo y exportación (Gandules), la vía principal de conexión a la zona (Panamericana Norte), así como las viviendas construidas precariamente alrededor de la entrada a la ciudad de San Pedro de Lloc, viviendas y casonas históricas ya dentro de la ciudad de San Pedro de Lloc, tal como se tiene registrado en la huella hídrica ante inundación de la zona de estudio por el último evento extraordinario del año 2017. El área total de inundación que se obtuvo después de la simulación del evento fue de 37.555 Km<sup>2</sup>, esta área total se ha clasificado por tirantes como se podrá visualizar en los mapas de inundación (anexo 5), definiendo que para un tirante de 0.5 metros se tiene un área de inundación de 18.991 Km<sup>2</sup>, para un tirante de 1 metro se tiene un área de inundación de 15.838 Km<sup>2</sup> y para un tirante de 1.5 metro se tiene un área de inundación de 2.727 Km<sup>2</sup>.

**Del Objetivo Especifico 1:** Recopilar y procesar información cartográfica y topográfica de la zona de estudio.

- Del procesamiento de información Cartográfico y análisis geomorfológico de la cuenca del Rio Chilco, teniendo en cuenta como punto de emisión el pontón ubicado en el Km 662+072, se definió la cuenca con un área de 503.1918 Km<sup>2</sup> y un perímetro de 126.1473 Km, clasificada como una cuenca muy grande y por su índice de compacidad está definida como una cuenca oval oblonga a una rectangular oblonga.



Con un tiempo de concentración de 5.35 horas, siendo un tiempo considerable para acumulación de caudales ante lluvias extremas.

**Del Objetivo Especifico 2:** Recopilar y procesar información hidrológica (Precipitaciones máximas diarias), del año 2017.

- Del modelamiento hidrológico, se utilizó las precipitaciones máximas en 24 horas del año 2017, data que fue proporcionado por las estaciones en estudio (La Talla, Casa Grande), luego, mediante la fórmula de Dick y Peschke, y la ayuda del software Hec-HMS se obtuvo el hidrograma para el estudio Hidráulico, con un caudal pico de 1771.7 m<sup>3</sup>/s.

**Del Objetivo Especifico 3:** Caracterizar el Rio Chilco en el tramo estratégico

- Se caracterizo a la zona de estudio, teniendo en cuenta el cauce principal con un Manning de 0.35, terrenos arenosos con un Manning de 0.02, carretera principal (Panamericana Norte) con un Manning de 0.016, zonas de cultivos con un Manning de 0.04, árboles y arbustos con un Manning de 0.1, carretera de tierra con un Manning de 0.022, viviendas con un Manning de 4.

**Del Objetivo Especifico 4:** Estimar el caudal de avenida que provocó la inundación en el año 2017 en la zona de estudio.

- Se realizo la simulación de la máxima avenida del 2017, con un caudal pico de 1771.7 m<sup>3</sup>/s.; para este evento se ha llegado a un tirante de 1 metro en la zona urbana de la ciudad de San Pedro de Lloc y alrededores, como el centro poblado del Cacique de Lloc, muy parecido al registro fotográfico que tenemos de la zona, en abarcamiento de territorio se observa la llegada del caudal hasta la zona agropecuaria de Gandules y gran expansión al margen izquierdo de la panamericana central donde solo se ve afectado terreno sin población, con tirantes variables entre 0.5 a 1.5 m.

**Del Objetivo Especifico 5:** Realizar el modelamiento hidráulico, en un tramo estratégico del Río Chilco, mediante los programas HEC-RAS e IBER.

- Tras comparar los resultados de la modelización con los programas Hec RAS e IBER, se determinó que el programa unidimensional Hec RAS es la opción más adecuada por su sencillez de uso y la mayor rapidez con que arroja resultados precisos. Sin embargo, debido a su diseño bidimensional, el programa IBER es una opción superior para simular ríos con geometrías más irregulares, cuando hay dos o más puentes con una separación reducida, como ocurrió en nuestro estudio, con las alcantarillas y los pontones. Comparando resultados ante el evento modelado, HEC RAS tiene una mínima mayor expansión de la inundación que IBER, esto debido a la capacidad de mejor procesamiento de información topográfica de HEC RAS, esta diferencia de expansión también se ve reflejada en los hidrogramas de salida evaluados anteriormente teniendo una diferencia de 20.117 m<sup>3</sup>/s de caudal pico.

**Del Objetivo Especifico 6:** Elaborar el mapa de las zonas inundadas ante la máxima avenida del Río Chilco del año 2017, en la ciudad de San Pedro de Lloc.

- Se elaboraron los mapas de inundación teniendo en cuenta los resultados de los softwares HEC RAS e IBER, siendo comparados con la huella hídrica registrada del evento extraordinario del 2017, obteniendo similitud de las zonas inundadas. Se presentan los mapas en los anexos teniendo cuenta tirantes y velocidades

**Del Objetivo Especifico 7:** Proponer soluciones de mejora, con el fin de reducir y prevenir los daños de las inundaciones

- Se proponen alternativas de solución reales, basadas en teoría y visitas de campo realizadas por el tesista, como reforestación de la cuenca, dragado de sedimentos, evaluación de las estructuras hidráulicas que intervienen en el cauce del río, que al

ponerse en práctica traerán resultados positivos, mitigando los efectos ante máximas avenidas.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda analizar la secuencia de estructuras por donde pasa el Rio Chilco, en parámetros de distancia entre ellas y dimensionales de las mismas, ya que, según lo evaluado y registrado ante los eventos, la obstrucción de estas estructuras es inevitable ante eventos extraordinarios.
- Se recomienda implementar un programa de dragado para el cauce del Rio chilco, donde implica la eliminación de diversos sedimentos, y poder así evitar obstrucciones que deriven a una inundación, por cuestiones de costo se puede definir un tramo estratégico aguas arriba del pontón y aguas debajo de la misma estructura.
- Se recomienda incentivar a la acción de reforestación de la zona, sembrando la flora representativa de la cuenca, como el zapote, el espino, el algarrobo, que son arboles de zonas áridas, facilitando así su cuidado al no necesitar tanta intervención del hombre.
- La modelización hidráulica, incluyendo la sedimentación y erosión del tramo considerado, debe realizarse como investigación complementaria para confirmar el comportamiento del cauce ante estos eventos extraordinarios.

## CAPITULO 6: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castro Moreira & Vélez Gilces (2017). La importancia de la topografía en las ingenierías y arquitectura. Polo del Conocimiento, 2(7), 1071-1081.
- Secretaría de medio ambiente y recursos naturales instituto nacional de ecología (2007), El Manejo Integral De Cuencas En México ,Disponible en: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2008/06/El-Manejo-Integral-de-Cuencas-en-Mexico-segunda-edici%C3%B3n.pdf>
- Saavedra (1992). Los sistemas de información geográfica (SIG) una herramienta poderosa para la toma de decisiones. Ingeniería e investigación, (28), 31-40. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4902930>.
- Bosque Sendra (2000). Sistemas de información geográfica, pág. 451.
- Vide Juan Martin. (2009). Ingeniería de ríos (Vol. 9). Univ. Politèc. de Catalunya.
- Cortés Arango (2016). Determinación de relaciones de geometría hidráulica para el río Cauca en su valle alto (tramo Salvajina-La Virginia).
- Rocha Felices Arturo (1998), Introducción a la Hidráulica Fluvial.
- Maza Alvarez (1995) Cap. 7 del Manual de Ingeniería de Ríos “Origen y Propiedad de los Sedimentos”
- Desenvolupament Sostenible (2020) Riesgo de inundaciones. Disponible en: <http://www.desenvolupamentsostenible.org/es/los-riesgos-naturales/3-concepto-y-tipo-deriesgo/3-7-riesgo-de-inundaciones>
- Ahmed (2008) Aplicaciones para modelo HEC-RAS para el análisis del flujo no permanente con superficie libre. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Ernest Bladé Luis Cea (2012) Modelización matemática en lecho fijo del flujo en ríos. Modelos 1D y 2D en régimen permanente y variable.
- Triviño Pérez Alejandro & Ortiz Rojas Sergio (2004). Metodología para la modelación distribuida de la escorrentía superficial y Delimitación de zonas inundables en ramblas y ríos-rambla mediterráneos Universidad de Alicante.
- Cabrera (2012). Calibración de modelos hidrológicos. Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno El Niño, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Perú.
- Aguirre Núñez (2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. Revista virtual REDESMA, 5, 9.
- Máximo Villon Béjar (2004). Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Ortiz Vera Oswaldo (2016). Similitud hidráulica de sistemas hidrológicos altoandinos y transferencia de información hidrometeorológica.
- Aparicio Mijares Francisco (1992). Fundamentos de Hidrología de Superficie. Editorial Limusa S.A. de C.V. México.
- Senamhi (2014). El fenómeno EL NIÑO en el Perú. Villa Rica-Chaclacayo-Lima-Perú: Impresiones y Servicios Generales TAWA.
- Velásquez (2006). Guía Metodológica para proyectos de protección y control de inundaciones en áreas agrícolas o urbanas. Ministerio de Economía y Finanzas. Dirección General de Programación Multianual del Sector Público–DGPM. Perú.
- Espinoza Neyra & Díaz Vélez (2017). Trastorno de estrés postraumático en una población afectada por inundaciones ocasionadas por el niño costero en Perú. Revista peruana de medicina experimental y salud pública, 34(4), 751-752.

- Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. (2013). Lima, Perú: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- Aguilar Juan & Díaz Martín (2016). Guía práctica sobre la modelización hidrológica y el modelo HEC-HMS. Información tecnológica, 29(4).
- Desenvolupament Sostenible (2020) Riesgo de inundaciones. Disponible en: <http://www.desenvolupamentsostenible.org/es/los-riesgos-naturales/3-concepto-y-tipo-de-riesgo/3-7-riesgo-de-inundaciones>
- Río intermitente (2022) Disponible en: [https://hmong.es/wiki/Intermittent\\_stream](https://hmong.es/wiki/Intermittent_stream)
- Comisión Nacional del Agua 2011. Manual para el control de inundaciones. Coyoacán, México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Consultado 09 jun. 2017. Disponible en: <http://cenca.imta.mx/pdf/manual-para-el-control-de-inundaciones.pdf>
- Bosque Sendra (2000). Sistemas de información geográfica.
- Cárdenas (2012). Aplicación de sistemas de información geográfica para el modelamiento de zonas con riesgo de inundación. Universidad nacional pedro Ruiz gallo, Lambayeque, Chiclayo.
- Brunner (2016). User's Manual. HEC-RAS River Analysis System. Disponible en: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HECRAS%20Reference%20Manual.pdf>
- Aparicio Mijares 1992. Fundamentos De Hidrología De Superficie. 1 ed. México, Limusa.152 p.
- Gutiérrez Lozano Joel., Vargas Tristán Virginia., Romero Rodríguez Moisés., Plácido de la Cruz José Manuel., Aguirre Bortoni Manuel de Jesús., Silva Espinoza Hugo Tomas. (2011). Periodos de retorno de lluvias torrenciales para el estado de Tamaulipas, México. Investigaciones Geográficas. UNAM. México. N. 76 pp. 20-33.
- Cenepred. (2015). Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (Versión 02). Lima: NEVA STUDIOS SAC.
- Alberca Mejía & Guevara Pérez (2022). Calibración de la curva número del modelo SCS para la región de la costa norte del Perú. Revista Ingeniería UC, 29(2), 124-135
- User's Manual. HEC-RAS River Analysis System. Disponible en: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/ras1dtechref/latest/basic-data-requirements/geometric-data/energy-loss-coefficients>
- Chetyrina (2017). Análisis y determinación de las curvas IDF en Navarra.
- Rincón Pérez & Martínez, F. (2017). Análisis comparativo entre los modelos HEC-RAS e IBER en la evaluación hidráulica de puentes. Gaceta Técnica, 17(1), 9-28.
- Ingemet (2023). Evaluación del peligro geológico por inundación fluvial en la quebrada Cupisnique.
- Cenepred (2017). Informe de evaluación del riesgo por inundación pluvial en el centro poblado San Pedro De Lloc, distrito de San Pedro De Lloc, provincia de Pacasmayo, departamento de la libertad.

## CAPITULO 7: ANEXOS

### ANEXO 1. DATOS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

PUNTOS	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCION
1	9174439.24	672233.335	118.5106	HR
2	9174442.2	672228.158	118.489	RLL
3	9174436.48	672239.843	115.1924	PR
4	9174435.66	672240.899	112.9222	PR
5	9174431.73	672246.955	113.2821	E
6	9174425.05	672261.896	118.3476	HR
7	9174438.32	672259.818	113.0127	E
8	9174446.98	672258.029	114.1286	PR
9	9174452.85	672256.115	118.5206	HR
10	9174427.89	672264.544	116.3143	PR
11	9174452.75	672256.1	118.4797	HR
12	9174429.78	672269.021	114.5729	PR
13	9174428.63	672269.883	116.3462	PR
14	9174455.5	672254.587	118.295	RLL
15	9174463.03	672269.056	118.1941	RLL
16	9174460.41	672270.585	118.3594	HR
17	9174429.33	672274.948	116.4678	PR
18	9174449.25	672277.124	113.6593	PR
19	9174431.09	672277.107	114.7831	PR
20	9174442.02	672280.209	113.8466	E
21	9174431.02	672285.446	116.7321	E
22	9174427.18	672280.409	117.8453	HR
23	9174425.89	672272.796	117.7564	RLL
24	9174428.34	672285.872	116.7628	HR
25	9174430.43	672287.269	115.5488	PR
26	9174433.12	672287.229	115.0066	PR
27	9174446.79	672298.928	113.7215	E
28	9174437.58	672286.251	113.8593	PR

29	9174462.47	672293.882	114.1633	PR
30	9174429.38	672302.538	116.2619	HR
31	9174469.6	672290.684	118.838	HR
32	9174472.47	672289.132	118.518	RLL
33	9174436.91	672301.15	114.2334	PR
34	9174480.44	672303.993	119.07	RLL
35	9174477.91	672305.077	119.3458	HR
36	9174426.01	672319.023	117.268	HR
37	9174429.04	672320.006	117.1351	HR
38	9174471.35	672309.566	114.8056	PR
39	9174460.2	672316.912	113.1937	E
40	9174425.82	672333.038	116.9676	HR
41	9174473.65	672330.352	113.4514	PR
42	9174425.69	672341.352	115.8787	HR
43	9174473.71	672330.334	113.4441	PR
44	9174431.98	672341.159	113.2606	PR
45	9174487.41	672325.81	119.2759	HR
46	9174491.57	672324.563	119.3312	RLL
47	9174499.07	672340.659	119.4071	RLL
48	9174492.06	672345.512	119.471	HR
49	9174434.82	672326.687	113.2818	PR
50	9174485.99	672347.139	115.3023	PR
51	9174475.33	672351.286	113.7079	E
52	9174477.68	672366.772	113.7548	E
53	9174432.02	672340.753	113.2691	PR
54	9174433.89	672354.213	113.3973	PR
55	9174500.74	672362.607	119.5064	HR
56	9174507.24	672360.912	119.4421	RLL
57	9174429.59	672355.32	114.8893	PR
58	9174509.28	672378.865	119.5731	RLL
59	9174502.35	672381.267	119.6482	RLL
60	9174426.42	672370.661	114.9987	HR

61	9174483.83	672383.034	113.6796	PR
62	9174464.6	672383.845	113.4707	E
63	9174439.98	672388.666	113.5873	E
64	9174440.11	672388.628	113.5858	PR
65	9174429.42	672370.845	115.9991	HR
66	9174437	672368.951	113.4117	PR
67	9174429.41	672391.396	116.3438	HR
68	9174431.19	672407.396	116.5729	RLL
69	9174457.61	672399.987	113.7698	E
70	9174435.6	672407.306	116.4898	HR
71	9174485.42	672396.414	113.7937	PR
72	9174443.66	672405.405	113.5119	PR
73	9174501.59	672394.969	119.1531	HR
74	9174506.81	672395.455	119.4238	RLL
75	9174447.76	672421.529	114.2181	PR
76	9174508.82	672413.912	119.4707	RLL
77	9174503.33	672414.5	119.3731	HR
78	9174436.85	672423.863	117.3537	HR
79	9174431.69	672425.065	117.4679	RLL
80	9174488.34	672415.319	113.6292	PR
81	9174468.38	672420.305	113.7751	E
82	9174433.06	672441.493	118.0948	HR
83	9174467.45	672437.365	113.877	E
84	9174439.04	672441.12	118.0335	HR
85	9174448.23	672439.881	114.4334	PR
86	9174491.43	672438.138	113.8955	PR
87	9174500.8	672436.382	118.2264	HR
88	9174462.91	672456.699	114.0263	PR
89	9174503.23	672436.225	118.1851	HR
90	9174504.8	672453.751	118.6738	HR
91	9174503.2	672454.658	118.7675	HR
92	9174442.68	672462.351	118.2635	HR



93	9174493.53	672458.486	114.0842	PR
94	9174473.87	672464.734	114.3638	E
95	9174439.03	672480.815	118.6328	HR
96	9174477.56	672482.373	114.3227	E
97	9174446.7	672480.765	118.3085	HR
98	9174498.62	672477.285	114.8145	PR
99	9174508.32	672476.661	118.608	HR
100	9174455.84	672479.58	114.5657	PR
101	9174463.82	672478.921	114.3164	PR
102	9174514.94	672493.536	118.8249	HR
103	9174460.18	672501.078	114.7431	PR
104	9174512.73	672495.045	118.9145	HR
105	9174451.69	672504.867	118.4781	HR
106	9174503.25	672498.456	115.1617	PR
107	9174446.68	672506.379	118.7637	HR
108	9174483.77	672501.618	114.3131	E
109	9174450.14	672522.692	118.7144	HR
110	9174486.77	672519.526	114.6203	E
111	9174455.8	672522.452	118.678	HR
112	9174506.51	672514.067	115.3877	PR
113	9174464.2	672520.706	115.2969	PR
114	9174517.09	672510.573	119.0092	HR
115	9174472.64	672519.052	114.5836	PR
116	9174517.09	672510.595	118.985	HR
117	9174520.71	672509.834	118.8782	HR
118	9174476.41	672537.085	114.6649	PR
119	9174524.13	672526.791	118.8414	HR
120	9174521.53	672527.869	118.9582	HR
121	9174467.87	672540.522	115.055	PR
122	9174509.45	672532.125	114.9409	PR
123	9174460.13	672543.27	118.849	HR
124	9174492.02	672537.364	114.8837	E

125	9174492.52	672555.268	114.9085	E
126	9174458.5	672558.631	118.7184	HR
127	9174462.83	672558.623	118.7624	HR
128	9174511.57	672555.087	115.1025	PR
129	9174470.79	672558.255	115.3023	PR
130	9174478.87	672557.327	114.9529	PR
131	9174527.75	672554.353	119.1187	HR
132	9174531.69	672554.534	119.1273	HR
133	9174482.89	672577.192	115.2792	PR
134	9174534.58	672571.458	119.5027	HR
135	9174531.61	672572.54	119.5794	HR
136	9174474.44	672579.945	115.8725	PR
137	9174520.45	672575.629	115.9695	PR
138	9174466.9	672582.999	119.2692	HR
139	9174460.57	672584.774	119.3683	HR
140	9174502.39	672581.259	115.2534	E
141	9174505.56	672598.852	115.5888	E
142	9174463.45	672601.662	119.2167	HR
143	9174469.34	672602.142	119.241	HR
144	9174523.87	672594.904	116.2712	PR
145	9174476.65	672601.978	116.1067	PR
146	9174534.4	672593.205	119.9401	HR
147	9174538.37	672592.853	119.9503	HR
148	9174484.87	672600.261	115.5794	PR
149	9174539.87	672609.499	120.231	HR
150	9174535.91	672609.74	120.2726	HR
151	9174486.55	672613.996	115.833	PR
152	9174524.96	672611.212	116.2266	PR
153	9174477.14	672615.308	116.3172	PR
154	9174509.8	672612.854	115.7192	E
155	9174510.69	672630.867	115.9278	E
156	9174469.8	672618.243	119.4207	HR

157	9174464.55	672620.007	119.4613	HR
158	9174525.94	672628.316	116.5493	PR
159	9174463.94	672629.308	119.582	HR
160	9174471.27	672630.038	119.5389	HR
161	9174537.37	672625.774	120.492	HR
162	9174540.74	672625.231	120.5134	HR
163	9174480.78	672629.189	116.2279	PR
164	9174541.29	672641.789	120.7906	HR
165	9174538.22	672642.616	120.8615	HR
166	9174489.08	672628.841	116.1434	PR
167	9174516.83	672644.987	116.2787	E
168	9174486.95	672646.453	116.5244	PR
169	9174516.32	672662.921	116.0287	PR
170	9174480.68	672647.592	116.7513	PR
171	9174529.73	672661.463	117.482	PR
172	9174472.48	672648.653	119.9623	HR
173	9174466.77	672650.683	119.9774	HR
174	9174544.84	672677.256	120.8301	HR
175	9174542.06	672678.005	120.9029	HR
176	9174531.29	672681.031	117.3911	PR
177	9174514.21	672682.568	116.6397	E
178	9174531.19	672697.592	117.3983	PR
179	9174493.2	672681.507	116.7515	PR
180	9174541.73	672697.644	120.9392	HR
181	9174544.92	672697.47	120.9261	HR
182	9174483.16	672682.287	116.97	PR
183	9174544.62	672714.517	120.9748	HR
184	9174542.13	672714.588	120.9852	HR
185	9174476.06	672683.487	119.991	HR
186	9174530.93	672715.725	117.4366	PR
187	9174471.39	672684.021	120.0269	HR
188	9174517.12	672716.588	117.0514	E

189	9174470.53	672703.007	119.6318	HR
190	9174475.87	672703.517	119.6502	HR
191	9174517.33	672733.506	117.2671	E
192	9174475.95	672703.54	119.6539	HR
193	9174482.86	672702.94	117.0094	PR
194	9174532.61	672734.057	118.1547	PR
195	9174497.2	672703.194	116.9535	PR
196	9174541.63	672732.351	121.0189	HR
197	9174544.56	672732.634	120.9343	HR
198	9174545.67	672749.128	121.1166	HR
199	9174542.11	672749.962	121.0986	HR
200	9174496.79	672726.775	117.0998	PR
201	9174532.13	672750.993	117.8477	PR
202	9174484.58	672727.993	117.2732	PR
203	9174520.05	672753.561	117.443	PR
204	9174477.18	672728.378	119.7797	HR
205	9174517.64	672770.18	117.5889	HR
206	9174472.09	672745.01	119.6482	HR
207	9174532.55	672772.396	117.9636	PR
208	9174484.92	672744.21	117.6037	PR
209	9174542.59	672770.806	121.2535	HR
210	9174496.02	672742.78	117.253	PR
211	9174545.83	672770.428	121.1477	HR
212	9174496.61	672761.679	117.3967	PR
213	9174487.31	672762.647	117.4227	PR
214	9174549.12	672786.163	121.3389	HR
215	9174477.26	672763.37	119.323	HR
216	9174544.35	672787.274	121.4684	HR
217	9174467.67	672763.379	119.936	HR
218	9174533.22	672790.1	118.1115	PR
219	9174466.24	672784.563	119.8492	HR
220	9174515.54	672792.49	117.7203	PR

221	9174476.88	672783.473	119.6146	HR
222	9174516.6	672808.866	117.9213	E
223	9174488.06	672781.756	117.7991	PR
224	9174535.49	672809.81	118.2938	PR
225	9174499.49	672780.75	117.4973	PR
226	9174546.83	672808.035	121.8532	HR
227	9174550.27	672807.998	121.8539	HR
228	9174500.06	672803.527	117.6909	PR
229	9174553.38	672823.905	122.0316	HR
230	9174549.09	672825.263	122.1178	HR
231	9174487.49	672804.596	118.0612	PR
232	9174537.74	672826.057	118.4585	PR
233	9174478.53	672805.149	119.6803	HR
234	9174474.03	672805.575	119.7885	HR
235	9174521.53	672827.389	118.1986	PR
236	9174473.22	672820.982	119.9015	HR
237	9174519.95	672845.448	118.3065	E
238	9174481.56	672819.476	119.3998	HR
239	9174488.43	672818.931	118.3279	PR
240	9174540.84	672844.188	118.847	PR
241	9174498.49	672818.502	117.9208	PR
242	9174549.39	672841.708	122.2521	HR
243	9174553.45	672841.283	122.432	HR
244	9174498.62	672835.586	118.0146	PR
245	9174489.43	672836.471	118.5412	PR
246	9174555.5	672856.102	122.6916	HR
247	9174483.48	672836.775	119.3897	HR
248	9174470.08	672838.586	119.9601	HR
249	9174538.95	672859.139	118.6474	PR
250	9174470.88	672856.132	120.1571	HR
251	9174524.14	672859.835	118.3936	PR
252	9174483.62	672856.768	119.6965	HR

253	9174491.37	672855.715	118.467	PR
254	9174520.45	672875.507	118.3352	PR
255	9174501.21	672856.414	118.259	PR
256	9174539.72	672876.858	119.0491	PR
257	9174502.04	672871.399	118.3777	PR
258	9174492.5	672871.833	118.534	PR
259	9174481.98	672873.676	119.9234	HR
260	9174556.25	672877.116	123.2248	HR
261	9174482	672873.578	119.9356	HR
262	9174471.43	672874.078	120.1093	HR
263	9174427.36	672219.622	117.9276	E3
264	9174427.05	672222.976	117.9116	E3
265	9174403.83	672174.285	116.6492	E3
266	9174410.41	672215.991	117.7804	HR
267	9174402	672232.989	117.9289	HR
268	9174400.13	672237.44	117.8663	HR
269	9174413.06	672210.679	117.634	HR
270	9174394.28	672234.94	113.1096	HR
271	9174409.47	672183.66	116.3692	HR
272	9174406.73	672184.9	116.2252	HR
273	9174385.46	672230.784	112.8289	HR
274	9174370.6	672224.595	113.6283	HR
275	9174400.7	672170.798	116.4694	HR
276	9174403.28	672169.789	116.5592	HR
277	9174358.84	672225.021	116.2669	HR
278	9174401.91	672151.807	116.2741	HR
279	9174353.04	672219.844	115.9265	HR
280	9174395.88	672152.764	115.3913	HR
281	9174353.55	672200.741	113.9073	HR
282	9174394.41	672138.763	115.4513	HR
283	9174360.65	672197.038	113.2104	HR
284	9174397.22	672137.973	115.7902	HR

285	9174347.06	672175.353	113.9552	HR
286	9174394.53	672125.351	116.2561	HR
287	9174343.61	672174.721	114.3961	HR
288	9174391.28	672125.656	115.7267	HR
289	9174337.13	672160.692	114.4685	HR
290	9174340.76	672157.881	113.69	HR
291	9174389.98	672110.806	116.4645	HR
292	9174334.19	672145.242	113.5321	HR
293	9174392.34	672110.059	116.3333	HR
294	9174328.11	672145.69	114.1449	HR
295	9174390.62	672094.27	115.723	HR
296	9174375.45	672098.649	116.5785	HR
297	9174321.06	672125.119	114.0938	HR
298	9174324.86	672123.137	113.3826	HR
299	9174380.36	672082.277	115.5394	HR
300	9174318.47	672109.654	114.0163	HR
301	9174381.73	672080.543	114.8601	HR
302	9174321.67	672109.312	113.0475	HR
303	9174373.98	672067.253	114.3622	HR
304	9174320.27	672102.898	113.1616	HR
305	9174371.81	672068.133	115.318	HR
306	9174316.73	672099.339	113.893	HR
307	9174316.54	672089.787	113.8651	HR
308	9174365.44	672054.431	114.8339	HR
309	9174368.79	672052.568	114.3703	HR
310	9174320.48	672086	112.1176	HR
311	9174362.92	672037.249	113.6779	HR
312	9174319.14	672072.736	111.9499	HR
313	9174359.47	672038.322	114.7131	HR
314	9174321.27	672058.391	111.9213	HR
315	9174354.77	672023.18	113.1566	HR
316	9174312.75	672055.837	112.8572	HR

317	9174352.04	672023.946	113.889	HR
318	9174307.36	672039.84	113.1984	HR
319	9174352.09	672024.028	113.8887	HR
320	9174352.15	672023.953	113.888	HR
321	9174313.28	672037.3	113.0296	HR
322	9174349.33	672008.947	113.4977	HR
323	9174311.23	672024.556	112.5907	HR
324	9174350.87	672007.838	113.2203	HR
325	9174303.12	672026.944	113.0498	HR
326	9174346.96	671991.881	112.999	HR
327	9174304.01	672021.101	112.7721	HR
328	9174310.39	672019.022	112.5084	HR
329	9174344.79	671975.387	112.6236	HR
330	9174309.55	672003.193	112.3002	HR
331	9174309.52	672003.13	112.3022	HR
332	9174343.39	671960.95	112.5478	HR
333	9174309.47	672003.112	112.2759	HR
334	9174299.46	671998.495	112.761	HR
335	9174340.53	671961.542	111.885	HR
336	9174299.39	671998.494	112.7544	HR
337	9174339.95	671945.05	112.0259	HR
338	9174304.87	671994.689	112.3813	HR
339	9174340.21	671930.046	111.7758	HR
340	9174295.46	671980.163	112.6026	HR
341	9174333.72	671915.393	111.3113	HR
342	9174300.04	671978.878	112.6724	HR
343	9174336.2	671914.75	112.2249	HR
344	9174332.81	671899.079	112.2341	HR
345	9174294.71	671948.817	113.6082	HR
346	9174329.67	671899.706	111.3034	HR
347	9174330.07	671882.288	111.9989	HR
348	9174327.33	671882.03	111.1107	HR



349	9174287.22	671927.927	112.5781	HR
350	9174326	671865.91	111.3611	HR
351	9174293.46	671924.935	112.1145	HR
352	9174325.91	671865.808	111.3476	HR
353	9174327.23	671865.424	111.6339	HR
354	9174287.03	671897.069	110.9971	HR
355	9174327.22	671865.368	111.6078	HR
356	9174279.45	671897.794	111.3063	HR
357	9174324.44	671850.084	111.3184	HR
358	9174321.7	671850.859	110.7452	HR
359	9174278.64	671875.398	111.0292	HR
360	9174319.92	671834.566	110.8896	HR
361	9174285.65	671872.855	110.7951	HR
362	9174320.74	671834.428	111.361	HR
363	9174285.67	671872.824	110.817	HR
364	9174317.24	671818.426	111.1357	HR
365	9174282.52	671854.032	110.4807	HR
366	9174276.18	671854.943	110.8786	HR
367	9174269.41	671833.622	109.9092	HR
368	9174276.81	671830.506	109.6517	HR
369	9174311.61	671818.938	108.9424	PR
370	9174303.59	671820.707	108.7419	PR
371	9174285.92	671829.47	108.6628	PR
372	9174305.6	671837.143	108.8217	PR
373	9174292.62	671850.696	109.0679	PR
374	9174292.72	671850.678	109.0987	PR
375	9174285.44	671857.432	109.7036	PR
376	9174323.7	671885.584	109.485	PR
377	9174290.06	671881.953	109.4081	PR
378	9174302.57	671904.683	109.1592	PR
379	9174306.41	671917.636	109.5319	PR
380	9174308.04	671932.559	110.0043	PR

381	9174298.56	671921.155	109.8767	PR
382	9174308.02	671932.653	110.0259	PR
383	9174301.69	671934.241	109.8606	PR
384	9174301.62	671934.218	109.8441	PR
385	9174308.91	671950.201	109.9599	PR
386	9174310.54	671967.04	110.0626	PR
387	9174303.49	671968.333	110.8606	PR
388	9174313.68	671983.651	110.233	PR
389	9174311.23	671989.433	110.5094	PR
390	9174333.11	671983.973	109.7485	PR
391	9174314.76	672006.731	110.4167	PR
392	9174334.66	672000.063	109.5974	PR
393	9174342.76	672001.141	110.6052	PR
394	9174322.11	672009.753	110.239	PR
395	9174344.33	672019.076	110.7959	PR
396	9174340.81	672019.747	110.7861	PR
397	9174327.93	672030.62	109.7074	PR
398	9174342.55	672036.608	110.6485	PR
399	9174323.46	672049.069	110.132	PR
400	9174349.67	672035.948	111.1822	PR
401	9174330.85	672050.293	109.8011	PR
402	9174355.57	672050.969	111.5963	PR
403	9174350.05	672053.78	111.2899	PR
404	9174332.78	672074.248	110.0725	PR
405	9174352.99	672070.361	111.4577	PR
406	9174362.47	672067.793	111.6556	PR
407	9174324.52	672077.055	109.7775	PR
408	9174367	672081.499	111.8802	PR
409	9174325.61	672089.609	110.2987	PR
410	9174360.73	672083.448	111.6875	PR
411	9174332.94	672090.797	110.0835	PR
412	9174361.52	672099.747	111.7676	PR

413	9174330.76	672110.809	110.2299	PR
414	9174372.42	672099.303	112.1604	PR
415	9174376.34	672115.402	111.9015	PR
416	9174332.03	672125.23	110.8492	PR
417	9174368.71	672117.277	111.7435	PR
418	9174369.34	672134.655	111.564	PR
419	9174339.09	672140.499	110.7724	PR
420	9174381.8	672133.654	111.6408	PR
421	9174385.88	672148.844	111.7281	PR
422	9174349.75	672144.613	111.2629	PR
423	9174378.76	672150.135	111.578	PR
424	9174379.95	672165.939	111.4197	PR
425	9174355.48	672170.243	111.4516	PR
426	9174389.15	672163.219	111.7389	PR
427	9174393.42	672179.566	111.6416	PR
428	9174379.43	672181.853	111.5539	PR
429	9174387.19	672182.527	111.6397	PR
430	9174394.22	672197.048	111.7008	PR
431	9174386.28	672196.822	111.6202	PR
432	9174401.64	672193.549	112.1552	PR
433	9174407.04	672209.46	112.7154	PR
434	9174397.92	672210.097	111.4763	PR
435	9174402.25	672209.809	111.8632	PR
436	9174415.25	672238.48	112	E
437	9174412.75	672244.245	118.25	HR
438	9174421.81	672251.924	118.3	HR
439	9174392.33	672229.824	116.2	HR

ANEXO 2. CONSTANCIA POR PARTE DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE  
PACASMAYO, DONDE ACREDITA LA AUSENCIA DE INFORMACIÓN DEL  
EVENTO DEL NIÑO DEL 2017



*Municipalidad Provincial de Pacasmayo*  
**SAN PEDRO DE LLOC**

"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACION DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA  
CONMEMORACION DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNIN Y AYACUCHO"

San Pedro de Lloc, 11 de junio del 2024.

CARTA N° 023-2024-MPP/A

Señor:  
**JULIO ANDRES RIVASPLATA JARA**  
Presente. –

**ASUNTO : DA RESPUESTA A PEDIDO FORMULADO**

**REF. : EXP. 5268 de fecha 10-06-2024**

De mi especial consideración:

Tengo el agrado de dirigirme a su digno despacho, para expresarle el saludo cordial a nombre de la Municipalidad Provincial de Pacasmayo, la cual me honro en representar.

Que, mediante documento de la referencia, su persona solicita el mapa de inundación y evidencia registrada de Huella hídrica de año 2017 (Fenómeno del Niño), con fines de académicos (Tesis para título profesional) de la ciudad de San Pedro de Lloc.

Que, a través del Informe N° 081-2024-SGGRD-MPP de fecha 11 de junio del 2024, el Sub Gerente de Gestión del Riesgo de Desastres, da a conocer que la Municipalidad Provincial de Pacasmayo NO CUENTA con los estudios de Huella Hídrica del Río Chilco del Distrito de San Pedro de Lloc, debido a que no se cuenta con equipo de profesionales especialistas para la elaboración de estos análisis, documento que se hace llegar a su persona para conocimiento y fines.

Sin otro particular, hago propicia la ocasión para renovarle los sentimientos de mi especial consideración.

Atentamente.



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE PACASMAYO  
SAN PEDRO DE LLOC  
  
Prof. Elmer Augusto León Páizaman  
ALCALDE PROVINCIAL

## ANEXO 3. RESPUESTA DE SENAMHI A LA DATA SOLICITADA (PRECIPITACIONES)



JULIO ANDRES RIVASPLATA JARA <rivasplatajarajulioandres@gmail.com>

---

### TESISTA JULIO ANDRES RIVASPLATA JARA

1 mensaje

Luis Felipe Gamarra Chávarry (UACGD) <lgamarra@senamhi.gob.pe>

28 de septiembre de 2023, 12:13 p.m.

Para: rivasplatajarajulioandres@gmail.com, "Manuel Jesus Valverde Bocanegra (UACGD)" <mvalverde@senamhi.gob.pe>, "Carmen Rosa Sulca Guzman (UACGD)" <csulca@senamhi.gob.pe>, "Milagros Del Pilar Martinez Tabraj (UACGD)" <mmartinez@senamhi.gob.pe>

### TESISTA JULIO ANDRES RIVASPLATA JARA:

Reciba el cordial saludo del SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ - SENAMHI, a fin de remitirle los datos disponibles de las estaciones comprendidas en el expediente N° 8288, escala DIARIA, período (1997 - 2023); cabe indicar que bajo la modalidad de servicio gratuito es por única vez. A la espera de su confirmación en cuanto a la recepción del presente y hacerle recordar que una vez concluida y aprobada su TESIS/INVESTIGACIÓN hacer llegar un ejemplar para nuestra biblioteca especializada, saludos.

Cabe indicar que de acuerdo a los procedimientos establecidos en la Directiva N° 003-2016-SENAMHI-SG-OPP-UM, para la atención a estudiantes, tesistas e investigadores bajo la modalidad de servicio gratuito, dichos usuarios firman una DECLARACIÓN JURADA, que tiene un firme compromiso LEGAL de entregar un ejemplar de su tesis para nuestra biblioteca. En ese sentido la Srta. Carmen Sulca ([csulca@senamhi.gob.pe](mailto:csulca@senamhi.gob.pe)), estará atenta al cumplimiento de dicho acuerdo, saludos.

Expediente: 8288

--

--



**Luis Felipe Gamarra Chavarry**  
DIRECTOR DE PLANEAMIENTO, COORDINACION Y CONTROL  
GERENCIA GENERAL  
SENAMHI - PERÚ

D: Jr. Cahuide 785, Jesús María - Lima  
T: 01 6141414 Anexo -  
C: -  
E: [lgamarra@senamhi.gob.pe](mailto:lgamarra@senamhi.gob.pe)  
W: [www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe)

SENAMHI es una institución responsable con el medio ambiente. Le pedimos no imprimir este correo a menos que sea absolutamente necesario. Reduzca - Reuse - Recycle

---

TALLA\_D\_PT101\_1997-2023.xlsx

46K

---

## Información Estación Meteorológica - Fines Sustento Tesis

---

Hernandez Urbina, Sergio (Casa Grande S.A.A.) <sergio.hernandez@azucarperu.com.pe>

22 de agosto de 2023, 9:47 a.m.

Para: "rivasplatajarajulioandres@gmail.com" <rivasplatajarajulioandres@gmail.com>

CC: "Romero Romero, Ronald (Cartavio S.A.A.)" <rromero@azucarperu.com.pe>, "Rिकासca Zvietcovich, Marco (Casa Grande S.A.A.)" <marco.rिकासca@azucarperu.com.pe>

*Buenos días Ingenieros*

Se adjunta información requerida . Atento a sus comentarios y coordinaciones.

Nota:

- Para fines pertinentes

*Saludos cordiales*

**Atte:**

**Hernández Urbina, Sergio Miguel**

**CEL: 948294525**



---

Este correo ha sido inspeccionado por el servicio Symantec Email Security.cloud  
Para más información, por favor visite: <http://www.symanteccloud.com>

---

### 2 archivos adjuntos



**DATOS METEOROLOGICOS DIARIOS 2023 - ESTACION CASA GRANDE.xlsx**

1361K [Ver como HTML](#) [Explorar y descargar](#)



**Historico Datos Estaciones\_CG\_PANCAL.xlsx**

555K [Ver como HTML](#) [Explorar y descargar](#)

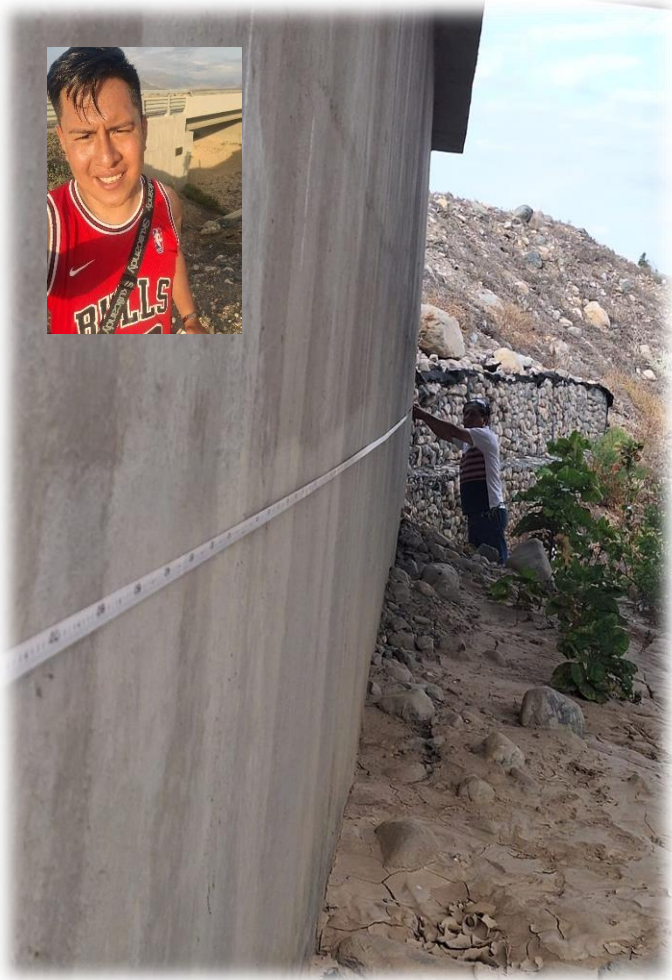
## ANEXO 4. PANEL FOTOGRÁFICO



### Levantamiento Topográfico del Rio Chilco – San Pedro de Lloc



### Visualización del punto emisor, pontón en el Km 662+072



**Toma de medidas de las estructuras por donde circula el Rio chilco – (Pontón y alcantarillas)**





**Visualización en campo y gabinete, de la huella hídrica ocasionada por el último evento (2017), con el aporte de información del Sr. Marvin Sánchez Castillo, Gerente de Turismo 2015-2018 (San Pedro de Lloc).**

**ANEXO 5. MAPAS DE INUNDACIÓN CON LOS SOFTWARES HEC RAS e  
IBER**