

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Evaluación de distribuciones probabilísticas para predecir inundaciones  
fluviales del río Tumbes, en el tramo de la Ciudad de Tumbes**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

**Autor:**

Bach. Consuelo Leyla Sinforoso Chávez

**Asesor:**

Mg. Reymundo Jaulis Palomino

Lima, abril de 2024

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Reymundo Jaulis Palomino, docente de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EVALUACIÓN DE DISTRIBUCIONES PROBABILÍSTICAS PARA PREDECIR INUNDACIONES FLUVIALES DEL RÍO TUMBES, EN EL TRAMO DE LA CIUDAD DE TUMBES”** de la autora Consuelo Leyla Sinforsoso Chávez tiene un índice de similitud de 16% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

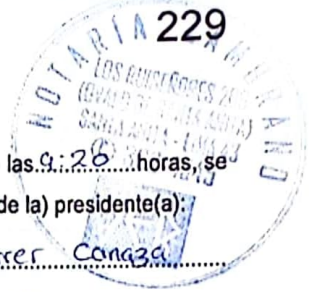
En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 26 días del mes de abril del año 2024.



---

Reymundo Jaulis Palomino

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Lima, Ñaña, Villa Unión, a 23 día(s) del mes de abril del año 2024 siendo las 9:26 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Ing. Fiorella Maiva Zapata Antezana, el (la) secretario(a): Ing. Ferrer Canaza Rojas y los demás miembros: Ing. David Diaz

Garamendi y el (la) asesor(a) Mg. Reymundo Jaulis

Palomino con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

"Evaluación de distribuciones probabilísticas para predecir inundaciones  
fluviales del río Tumbes, en el tramo de la ciudad de Tumbes"

del(los) bachiller(es): a) Consuelo Leyla Sinproso Chávez

b) \_\_\_\_\_

c) \_\_\_\_\_

conducente a la obtención del título profesional de: \_\_\_\_\_

Ingeniero Civil  
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Consuelo Leyla Sinproso Chávez

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy bueno</u>

Bachiller (b): \_\_\_\_\_

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Bachiller (c): \_\_\_\_\_

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente/a

\_\_\_\_\_  
Secretario/a

\_\_\_\_\_  
Asesor/a

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Bachiller (a)

\_\_\_\_\_  
Bachiller (b)

\_\_\_\_\_  
Bachiller (c)

\* Esta sustentación fue realizada de manera virtual e online sincrónica conforme al Reglamento General de Grados y Títulos.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, nuestro salvador, por guiar cada paso que doy, por brindarme su protección, fuerzas y valentía para así poder lograr este objetivo.

A mi madre por darme mucha valentía, paciencia y a no rendirme ante cualquier obstáculo, y por estar siempre en cada paso que doy.

A mi padre por darme muchas fuerzas, perseverancia y ser mi mayor inspiración durante este largo recorrido.

A los docentes y compañeros de la Universidad Peruana Unión por sus enseñanzas, apoyo y consejos a lo largo de la carrera profesional.

Al Ing. Rodrigo Chavarry Victoriano por inculcar mi gusto en la hidrología e hidráulica y por sus enseñanzas.

Consuelo Leyla Sinforoso Chávez

## **DEDICATORIA**

A mis padres por su esfuerzo y empuje constante para así seguir adelante en ofrecerme todo su apoyo incondicional y comprensión, razón del logro en toda la carrera profesional.

A mis hermanos Henry y Karen, que son mi ejemplo de dedicación y superación, por sus constantes alientos y amor para alcanzar mis logros.

Consuelo Leyla Sinforoso Chávez.

# INDICE

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS .....	2
ACTA DE SUSTENTACIÓN .....	3
AGRADECIMIENTO.....	4
DEDICATORIA.....	5
INDICE.....	6
EVALUATION OF PROBABILISTIC DISTRIBUTIONS TO PREDICT FLUVIAL FLOODING OF THE TUMBES RIVER, IN THE SECTION OF THE CITY OF TUMBES.....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
DESARROLLO.....	3
DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	16
CONCLUSIONES.....	17
REFERENCIA .....	18
SEMBLANZA DE LOS AUTORES.....	19
ANEXOS .....	20

## **EVALUACIÓN DE DISTRIBUCIONES PROBABILÍSTICAS PARA PREDECIR INUNDACIONES FLUVIALES DEL RÍO TUMBES, EN EL TRAMO DE LA CIUDAD DE TUMBES.**

## **EVALUATION OF PROBABILISTIC DISTRIBUTIONS TO PREDICT FLUVIAL FLOODING OF THE TUMBES RIVER, IN THE SECTION OF THE CITY OF TUMBES.**

**RESUMEN:** El objetivo de la investigación, es la de evaluar las distribuciones probabilísticas para predecir inundaciones fluviales del río Tumbes, en el tramo de la ciudad de Tumbes. Donde la metodología consistió en la recolección de datos para el análisis de los datos hidrometeorológicos, donde se realiza su análisis de frecuencias para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años, donde para obtener el hidrograma se va trabajar con HEC-HMS, para después utilizar el modelo HEC-RAS, para representar la inundación para una avenida centenaria. La cual la simulación se centró en el caudal de salida del punto de medición en la estación hidrométrica El Tigre, y se comparó con los valores medidos por el medidor de caudal. La cual se observó un error inferior al 1% al ajustar el parámetro del número de Curva. Y los resultados del modelo HEC-RAS indican que se tiene una variación de 4.98% entre los valores mínimos y máximos. Mientras respecto a las velocidades del agua, se registra una variación del 11.36%, con valores que van desde 2.613 m/s hasta 2.910 m/s.

**PALABRAS CLAVE:** HEC-HMS; HEC-RAS; Inundaciones Fluviales; Hidrometría; Hidrometeorología

**ABSTRACT:** The objective of the research is to evaluate the probabilistic distributions to predict fluvial flooding of the Tumbes River in the section of the city of Tumbes. The methodology consisted of data collection for the analysis of hydro-meteorological data, where frequency analysis is carried out for the return periods of 50, 100 and 200 years, where to obtain the hydrograph we will work with HEC-HMS, and then use the HEC-RAS model to represent the flooding for a centennial flood. The simulation focused on the outflow from the measuring point at the El Tigre hydrometric station, and was compared with the values measured by the flow meter. An error of less than 1% was observed when adjusting the Curve number parameter. And the results of the HEC-RAS model indicate that there is a variation of 4.98% between the minimum and maximum values. While with respect to the water velocities, a variation of 11.36% is recorded, with values ranging from 2.613 m/s to 2.910 m/s.

**KEYWORDS:** HEC-HMS; HEC-RAS; River Floods; Hydrometry; Hydrometeorology

---

<sup>1</sup> programa de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión – Perú.

## INTRODUCCIÓN

La evaluación de inundaciones fluviales es crucial para aquellos involucrados en la gestión de ríos y áreas ribereñas, especialmente para aquellos dedicados a la prevención de inundaciones. La estimación del riesgo de inundación se proporciona en términos de descarga ( $m^3$ ), pero puede convertirse a niveles de agua (m) y velocidad (m/s) mediante modelos hidráulicos (Norheim, 2018). La precisión de estas estimaciones no solo es crucial para evitar fallos en diversas estructuras, sino también porque las modificaciones posteriores a la construcción son costosas, especialmente si se determina que las estimaciones iniciales eran conservadoras (Huntington, 2006).

En respuesta a los riesgos de inundación, los países tienen regulaciones diversas para la construcción de medidas de mitigación de inundaciones. La frecuencia de inundaciones se expresa comúnmente a través del "periodo de retorno" (TR), indicando que una inundación de cierta magnitud ocurrirá, en promedio, una vez cada T años. Dado que los registros de aforo para la mayoría de los ríos abarcan menos de 30 años, la extrapolación de las estimaciones de crecidas de diseño puede ser incierta y variar significativamente según el método utilizado (Nagy, 2017). El análisis de frecuencia de inundaciones (AFI) implica ajustar distribuciones de probabilidad a los datos observados, lo que facilita la estimación de los valores de inundación de diseño para cualquier periodo de retorno deseado (Norheim, 2018). Por lo tanto, esta investigación se centra en la estimación de inundaciones fluviales basada en distribuciones probabilísticas o de probabilidad.

## DESARROLLO

La cuenca hidrográfica del río Puyango-Tumbes abarca regiones limítrofes del departamento de Tumbes, al norte del Perú, así como provincias en el sureste de Ecuador, incluyendo Loja y El Oro. Su extensión total es de 4,850  $km^2$ , siendo el 40% de esta área ubicada en territorio peruano. La red hidrográfica en su conjunto tiene una longitud de 950 km, con el tramo principal del río Puyango-Tumbes en su porción peruana alcanzando los 230 km. El río Tumbes mantiene un flujo constante de agua, con caudales mensuales promedio que varían entre 1244,2 y 7,7  $m^3/s$ , registrando una media de 116,3  $m^3/s$  según datos de la Estación El Tigre durante el período 1950 - 2023. Eventos climáticos como "El Niño" son recurrentes, presentando precipitaciones excepcionales en años como 1983, 1998 y 2017.

### *Datos hidrometeorológicos*

Se utilizó datos de 8 estaciones que se encuentran involucrados en la cuenca del río de estudio a escala diaria, desde 1981 hasta 2023 en el Observatorio Nacional de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua (<https://snirh.ana.gob.pe/VisorPorCuenca/>), y los caudales máximos instantáneos que fue proporcionada por el Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes.

Tabla 1 Estaciones pluviométricas que involucran a la cuenca de estudio

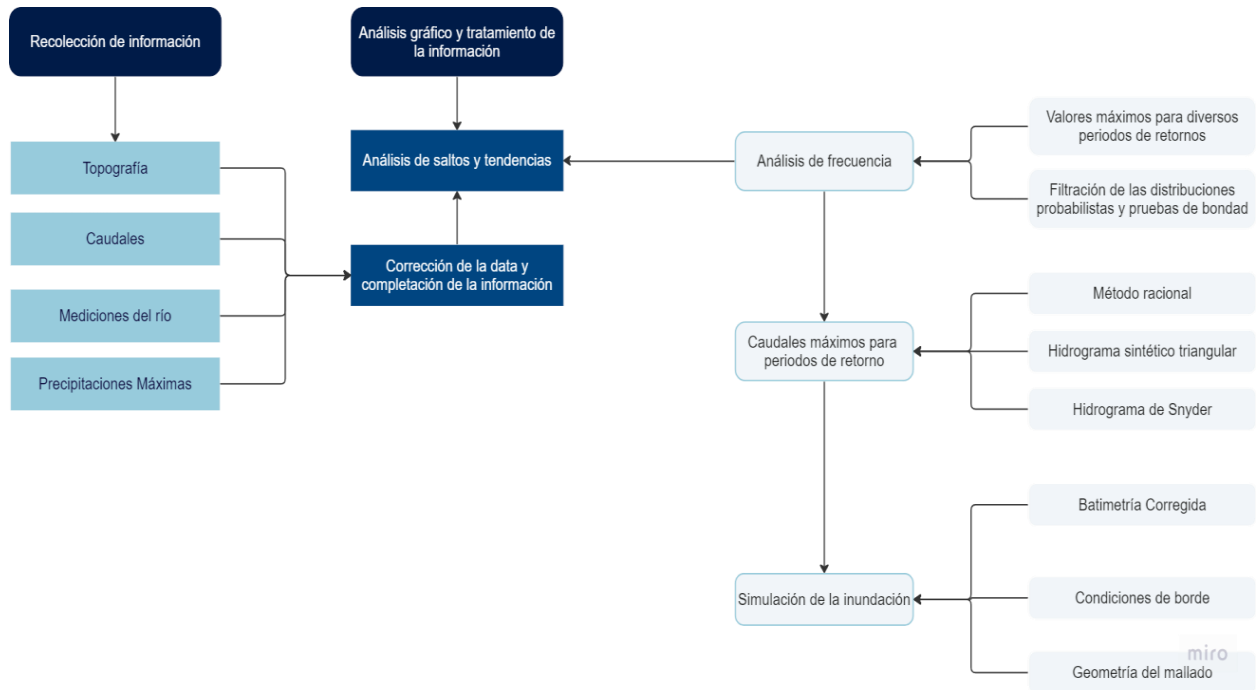
ID	Nombre	Longitud	Latitud	Periodo	Escala
1	Cabo Inga	-80.433	-3.967	1981 -2023	Diaria
2	Capitán Hoyle	-80.483	-4.067	1981 -2023	Diaria
3	Chacritas	-80.367	-3.700	1981 -2023	Diaria
4	Condor Flores	-80.148	-3.885	1981 -2023	Diaria
5	El Tigre	-80.459	-3.764	1981 -2023	Diaria
6	Huasimo	-80.504	-3.998	1981 -2023	Diaria
7	Quebrada Angostura	-80.400	-3.767	1981 -2023	Diaria
8	Rica Playa	-80.505	-3.812	1981 -2023	Diaria

### Datos Topográficos

Se trabajó con una topografía proporcionada por la Autoridad Nacional del Agua, con una resolución de 5 metros, la cual tiene 45 kilómetros de longitud. Donde parte del sector Higuерón hasta la desembocadura del Océano Pacífico.

### METODOLOGÍA

Figura 1 Esquema del modelo agrupado



Y La metodología utilizada se subdivide en tres partes:

- 1) Realización del análisis de frecuencia para un periodo de retorno de 100 años.
- 2) Modelización hidrológica HEC-HMS
- 3) Modelización hidráulica HEC-RAS 2D.

### **Modelo HECHMS**

Se utilizó el programa HEC-HMS para la conversión de datos pluviométricos a flujo directo, considerando la topografía y las características superficiales del área modelada, como la longitud del tramo. El software incorporó factores como el enrutamiento, las pérdidas y la transformación del flujo en el cálculo de la escorrentía. Se verificaron los datos y se elaboró el modelo HEC-HMS, definiendo diversos parámetros específicos del software y generando archivos correspondientes a la cuenca y al modelo meteorológico. Los parámetros necesarios para ejecutar el modelo HEC-HMS figuran en la tabla 2

Tabla 2 Parámetros necesarios para la ejecución del modelo HEC-HMS

<b>N</b>	<b>Modelo</b>	<b>Método</b>	<b>Parámetros requeridos</b>
1	Parámetros de pérdidas	SCS Número de Curva	Abstracción Inicial (mm) y CN.
2	Transformación de escorrentía	SCS Hidrograma Unitario	Tiempo de retardo (min)
3	Método de Enrutamiento	Muskingum	Tiempo de viaje (k) y peso adimensional (X)

### **Modelo HEC-RAS**

HEC-RAS es uno de los modelos hidráulicos más utilizados para la modelización de inundaciones. El modelo permite simulaciones de flujo estacionario 1D y cálculos de flujo no estacionario 1D y 2D, transporte de sedimentos/cálculos de lecho móvil. HEC-RAS 2D emplea ecuaciones de aguas para describir el movimiento del agua en términos de velocidad 2D promediada en profundidad y profundidad del agua. El enfoque de aproximación de onda de difusión se utiliza para calcular el campo de flujo en la malla 2D, ya que conduce a un tiempo de cálculo más corto y puede reducir el tiempo de cálculo del modelo.

El dominio del modelo se divide en celdas de malla, y HEC-RAS genera una tabla exhaustiva de propiedades hidráulicas para cada celda y cara de celda. Los perfiles de la superficie del agua, derivados del modelo mediante diversas características de diseño hidráulico, permiten a los encargados de la toma de decisiones asignar recursos de manera eficiente para la preparación ante eventos catastróficos, mejorando así la calidad de vida. Esto se logra al analizar la extensión de las inundaciones y las áreas afectadas. La confección de mapas de profundidad de inundación se llevó a cabo mediante Arc-GIS versión 10.5.

Los parámetros necesarios para ejecutar el modelo HEC-RAS figuran en la tabla 3

Tabla 3 Parámetros necesarios para la ejecución del modelo HEC-RAS

N	Parámetros	Descripción	Escala
1	Topografía	Modelo digital de elevación (DEM)	Resolución de 5 metros.
2	Hidrología	Hidrograma unitario	Escala temporal de 15 minutos (m <sup>3</sup> /s)
3	Hidráulica	Condiciones de flujo	Fujo no estacionario

## PROCEDIMIENTO

El proceso comienza al tomar en cuenta las estaciones ubicadas dentro de la cuenca de Tumbes, abarcando el periodo de 1981 a 2023 con datos recopilados a diario. Se procede a estimar los valores máximos anuales para llevar a cabo el análisis de frecuencia. Este análisis permite visualizar cómo se comportan a lo largo de los años los datos de las 8 estaciones que están siendo evaluadas.

Figura 2 Series de precipitaciones máximas de 24 horas

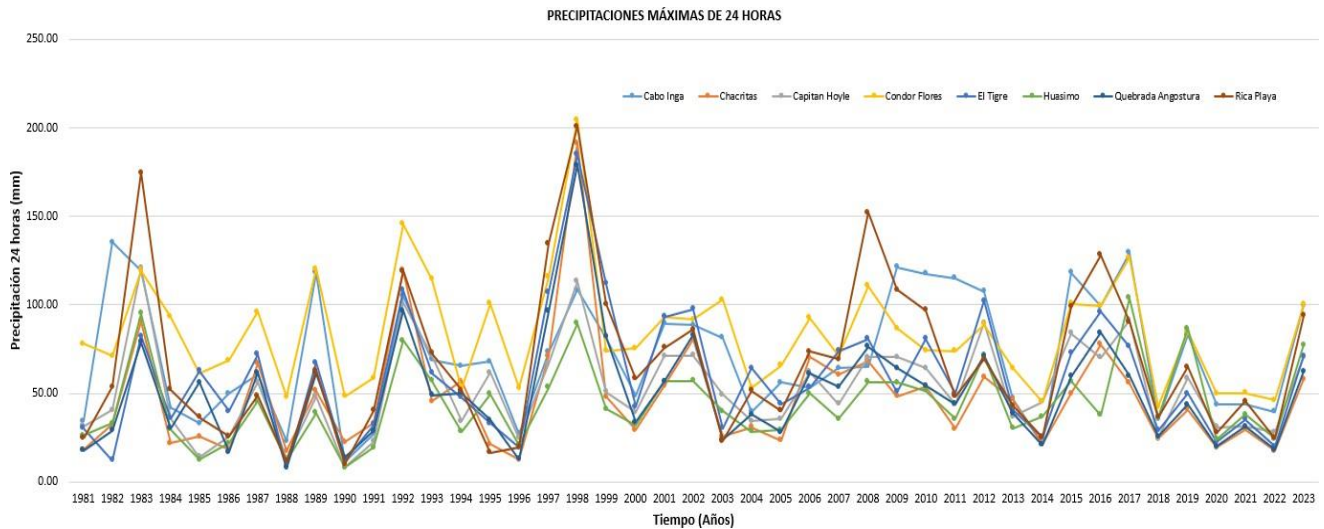


Tabla 4 Precipitaciones para un TR 50 años para cada distribución probabilística

<b>Estación / Distribución</b>	<b>Gumbel Max</b>	<b>Normal</b>	<b>Log Normal</b>	<b>Log Normal 3P</b>	<b>Log Pearson 3P</b>
Cabo Inga	160.94	142.29	199.08	155.97	159.65
Capitán Hoyle	121.27	106.98	147.48	120.23	116.31
Chacritas	131.65	114.15	132.62	153.68	146.21
Condor Flores	166.56	149.42	162.96	177.75	170.47
El Tigre	149.32	130.53	187.75	154.01	150.83

Huasimo	104.07	91.693	120.19	105.38	102.61
Quebrada Angostura	131.06	114.24	154.04	137.15	134.92
Rica Playa	181.71	157.91	226.56	204.13	198.15

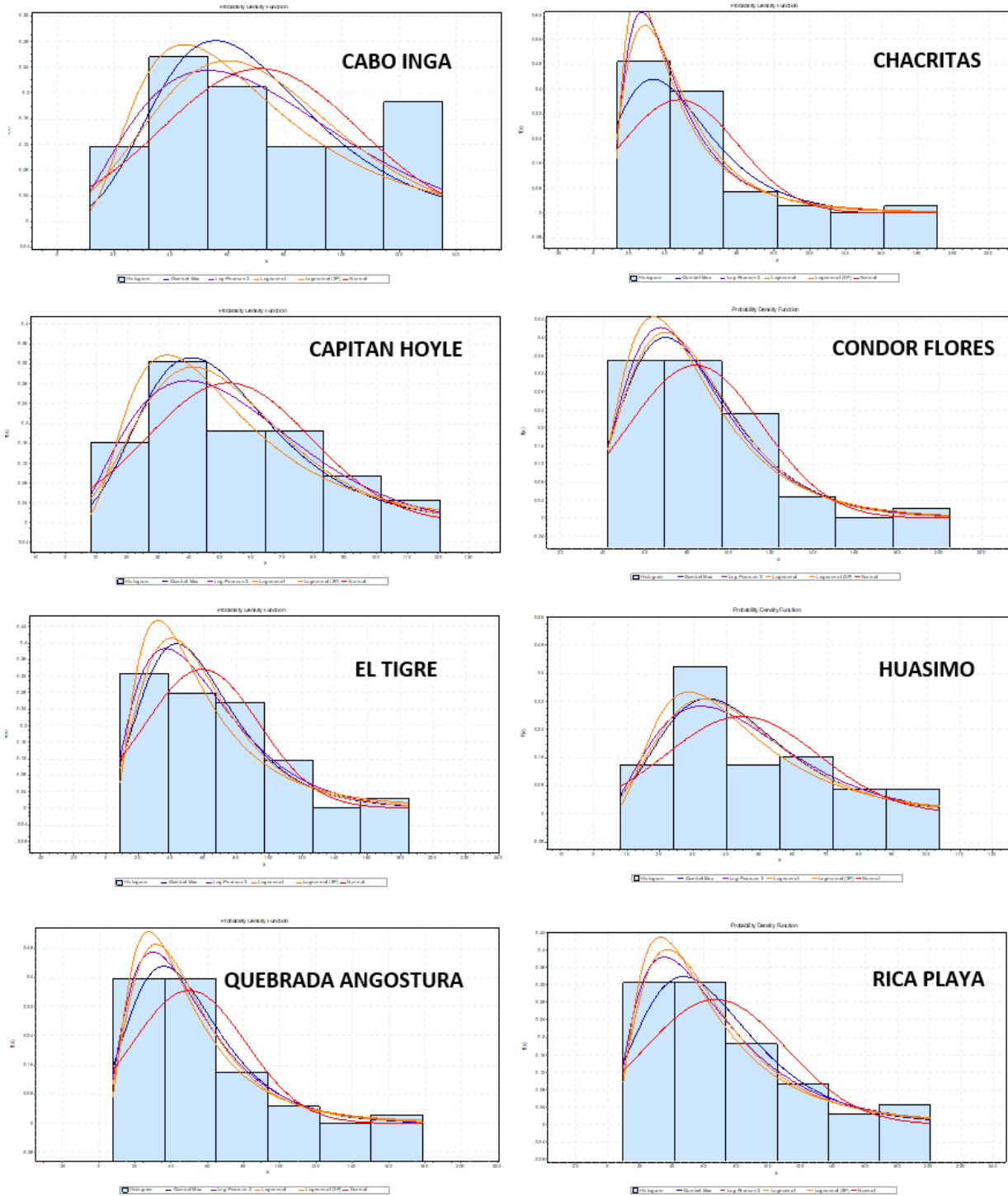
Tabla 5 Precipitaciones para un TR 100 años para cada distribución probabilística

<b>Estación / Distribución</b>	<b>Gumbel Max</b>	<b>Normal</b>	<b>Log Normal</b>	<b>Log Normal 3P</b>	<b>Log Pearson 3P</b>
Cabo Inga	179.79	151.73	232.51	171.20	172.88
Capitán Hoyle	135.71	114.22	172.39	133.61	125.46
Chacritas	149.33	123.01	155.69	188.09	177.58
Condor Flores	183.88	158.09	179.44	201.15	190.55
El Tigre	168.32	140.04	224.56	175.47	167.07
Huasimo	116.57	97.96	139.67	118.43	112.67
Quebrada Angostura	148.05	122.75	183.28	158.47	152.77
Rica Playa	205.76	169.95	274.21	240.76	227.99

Tabla 6 Precipitaciones para un TR 200 años para cada distribución probabilística

<b>Estación / Distribución</b>	<b>Gumbel Max</b>	<b>Normal</b>	<b>Log Normal</b>	<b>Log Normal 3P</b>	<b>Log Pearson 3P</b>
Cabo Inga	223.36	170.84	318.37	205.09	198.56
Capitán Hoyle	169.08	128.85	236.46	164.41	142.83
Chacritas	190.21	140.94	215.41	284.70	266.61
Condor Flores	223.93	175.66	218.07	259.93	240.07
El Tigre	212.22	159.29	322.64	227.28	200.56
Huasimo	145.47	110.63	189.31	149.35	133.65
Quebrada Angostura	187.33	139.98	260.56	211.59	193.09
Rica Playa	261.36	194.34	403.55	335.38	297.46

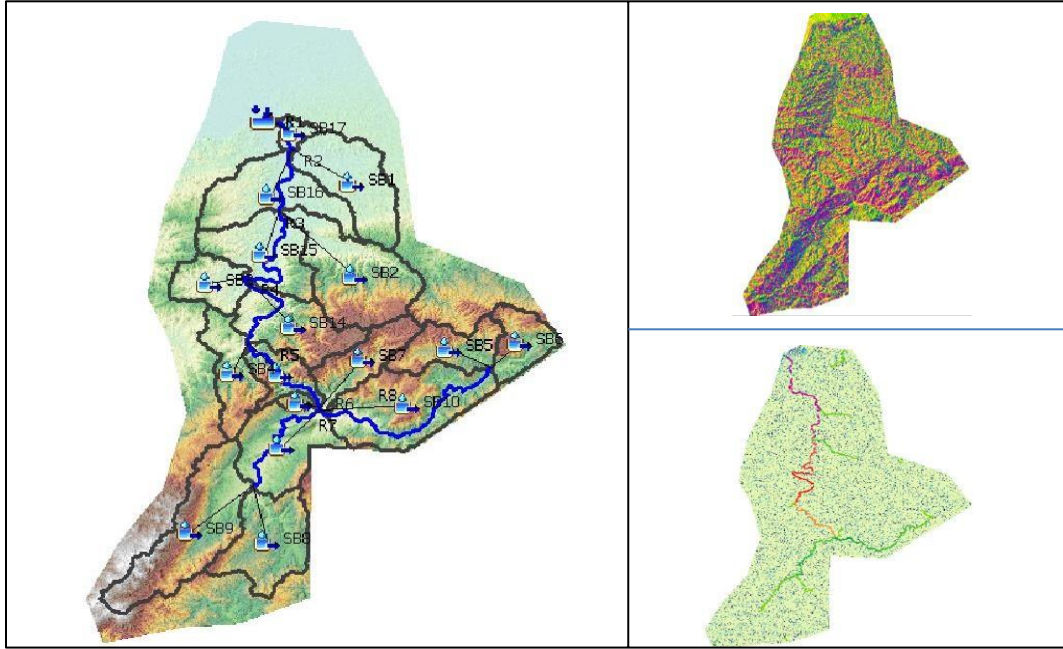
Consuelo Sinfaroso C; Jaulis Palomino R.  
 Figura 3 Distribuciones probabilísticas para las estaciones meteorológicas



## Delimitación de la cuenca

El MDE es un insumo esencial para definir la topografía de la cuenca sobre la base del semi-MDE mostrado en

Figura 4 Esquema del modelo agrupado



El mapa de suelos y los conjuntos de datos de uso del suelo se utilizaron para generar el archivo de cuadrícula del Número de Curva (CN), necesario para construir el modelo HEC-HMS. Los modelos de pérdidas en HEC-HMS se calcularon restando el volumen de agua interceptada, infiltrada, almacenada, evaporada o transpirada al volumen de agua (Tassew et.al.,2019). Para calcular la escorrentía directa a partir de una precipitación de diseño se utilizó el método de pérdidas del número de curva del Servicio de Conservación del Suelo (SCS Curva Número).

Para el modelo de pérdidas, el SCS-CN tiene dos parámetros: el número de curva (CN) y la abstracción inicial (Ia). El coeficiente de abstracción inicial por defecto era igual a 0,2, pero se varió después de la calibración del modelo (Tassew et.al.,2019). El CN es una función del uso del suelo y del tipo de suelo estimada mediante el conjunto de herramientas HEC-HMS. El porcentaje de impermeabilidad para cada subcuenca se asumió como 0% (se asumió que toda la cuenca era completamente permeable).

$$CN = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i} \quad (1)$$

donde  $A_i$  es la superficie (km<sup>2</sup>) de la subcuenca y  $CN_i$  es el número de curva correspondiente. Ia (mm) se obtiene multiplicando el coeficiente de pérdida por la abstracción potencial S (mm). La extracción potencial es función de CN y se calcula mediante la fórmula

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (2)$$

Los modelos de predicción de transformación en HEC-HMS simulan el proceso de escorrentía directa del exceso de precipitación en la cuenca y transforman el exceso de precipitación en escorrentía puntual. Durante el análisis de los datos del estudio, se utilizó el modelo del Hidrograma Unitario SCS para transformar el exceso de precipitación en escorrentía.

Los valores del parámetro de tiempo de desfase de la cuenca se determinaron durante el procesamiento de datos utilizando la herramienta HECHMS y se registraron en la tabla de atributos de la capa de datos de la subcuenca. Inicialmente, los tiempos de retardo de la cuenca se calcularon en horas para las subcuencas mediante la ecuación (3) y se convirtieron a minutos cuando se emplearon con HEC-HMS.

$$Lag = \frac{(S+1)^{0.7} L^{0.8}}{1900 * Y^{0.5}} \quad (3)$$

donde S = retención máxima (mm) definida por la ecuación (2), lag = tiempo de retardo de la cuenca (hora), L= longitud hidráulica de la cuenca (recorrido más largo del flujo) (pies) e Y = pendiente de la cuenca (%).

Tabla 7 Parámetros del modelo cuenca

No	Área de cuenca (Km <sup>2</sup> )	CN	Abstracción Inicial (mm)	Tiempo de retardo
1	138.90	68.22	20.87	224.12
2	187.75	67.58	21.56	165.98
3	67.739	48.85	49.29	139.69
4	89.922	62.95	26.88	117.01
5	84.581	67.70	21.43	102.92
6	67.447	70.06	18.99	84.39
7	81.993	67.56	21.58	112.74
8	136.00	67.38	21.77	131.18
9	204.90	67.38	21.77	155.67
10	196.41	70.62	18.44	136.79
11	132.66	67.41	21.74	135.40
12	10.796	68.13	20.97	105.00
13	57.960	67.38	21.77	73.80
14	123.46	67.38	21.77	126.09
15	128.25	64.30	25.25	170.24
16	140.55	55.85	36.75	246.49
17	19.458	62.34	27.64	139.80

## **Método de enrutamiento Muskingum**

A medida que la escorrentía de la crecida se desplaza por el tramo del canal, se debilita debido a los efectos de almacenamiento del canal. El modelo de enrutamiento disponible en el software HEC-HMS para este escenario fue el método Muskingum (Din & Khan, 2019).

El método Muskingum es una técnica común de enrutamiento de flujos agrupado. En este modelo, se requirió dos parámetros, X y K. Donde X es un peso adimensional, que varía entre 0 y 0,5, donde K es un factor que representa la influencia relativa del caudal en los niveles de almacenamiento. Es posible asumir que el valor inicial de los parámetros de calibración es 0.1, el cual fue ajustado durante el proceso de calibración. El parámetro K, que tiene unidades de tiempo y varía entre 1 y 5 horas, está asociado con el retraso entre los picos de descarga, según lo indicado por Din y Khan (2019). La estimación de K se realiza mediante la ecuación (4).

$$K = \frac{L}{V_w} \quad (4)$$

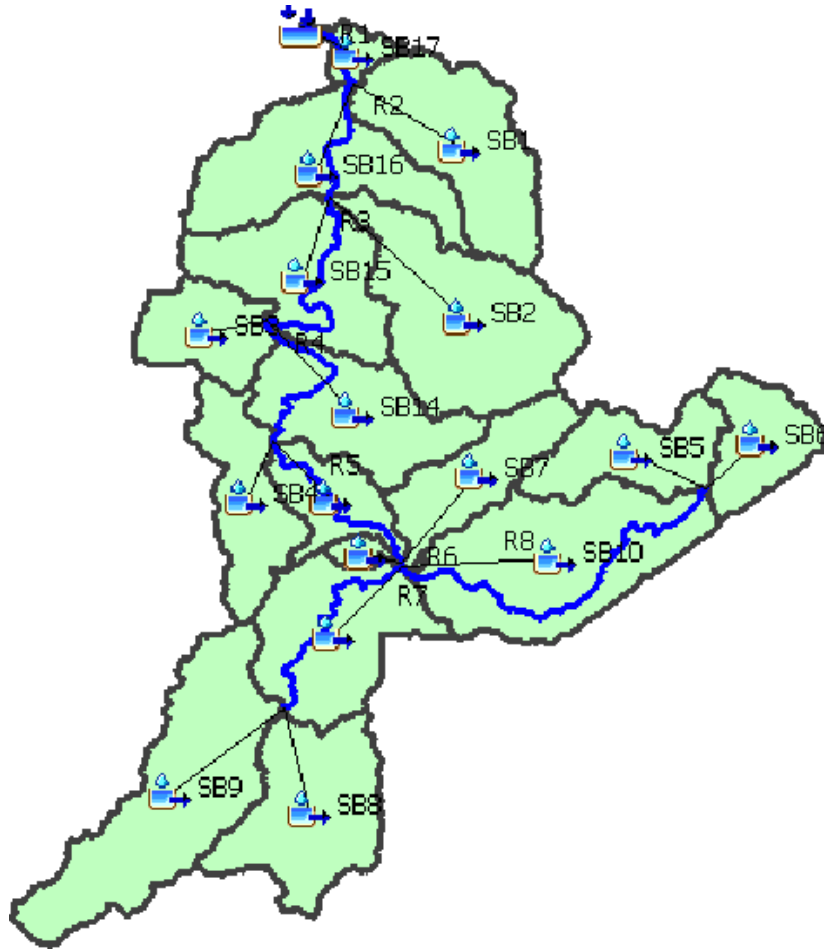
donde  $V_w$  es la velocidad de la onda de crecida, que puede tomarse como 1,5 veces la velocidad media, y L es la longitud del tramo. La velocidad media se obtuvo a partir de los puntos de aforo de los arroyos. El valor de K se utilizó también en el proceso de calibración dentro de límites cortos basados en la Ecuación (4) hasta que los hidrogramas simulados se aproximaron a los observados.

Se llevaron a cabo simulaciones de los procesos de escorrentía pluvial en sistemas de cuencas dendríticas mediante la aplicación del sistema de modelización hidrológica HEC-HMS. Tras realizar el preprocesamiento en el HEC-HMS, el modelo se incorporó al software como un archivo de cuenca. La Figura 5 ilustra el archivo del modelo de cuenca. La correcta entrada de datos en el HEC-HMS es crucial para la ejecución exitosa de la modelización de lluvia-escorrentía.

Los parámetros derivados, tales como los relacionados con las pérdidas (como el número de curva, la extracción inicial y el porcentaje de impermeabilidad), los vinculados a la transformación (como el tiempo de retardo), y los asociados al encaminamiento (k y x), fueron incorporados a las subcuencas y a los tramos, ya sea de forma manual o automática, utilizando la información contenida en las tablas de atributos del modelo.

Las series temporales de datos de precipitación y descarga se incorporaron mediante el gestor de datos de series temporales. Se generaron archivos destinados a la entrada de datos de precipitación en la carpeta, abarcando los intervalos de los años hidrológicos 1981-2023. En cuanto al control de las precipitaciones diarias, estas iniciaron el 29 de octubre a las 00:00 horas y concluyeron el 30 de octubre a las 00:00 horas, con un intervalo de tiempo establecido en pasos de 30 minutos.

Figura 5 Distribuciones probabilísticas para las estaciones meteorológicas



### Calibración del modelo HEC-HMS

La calibración se llevó a cabo utilizando el periodo de retorno de 100 años y se centró en el pico del caudal observado en la estación hidrométrica Puente Tumbes. La distribución probabilística que mejor se ajustó fue la Log Normal, y los resultados simulados fueron obtenidos mediante el modelo HEC-HMS. Se observó que al reducir el Valor de la Curva (CN), se aproximaba al valor deseado, con un error inferior al 1%.

Tabla 8 Validación del modelo, variando el Número de Curva

SUBCUENCA	CN	-1%	-1%	-1%	-0.01%
SB1	70.88	70.17	69.47	68.77	68.22
SB2	70.21	69.51	68.81	68.12	67.58
SB3	50.75	50.24	49.74	49.24	48.85
SB4	65.40	64.75	64.10	63.46	62.95
SB5	70.33	69.63	68.93	68.24	67.70
SB6	72.79	72.06	71.34	70.63	70.06

SB7	70.19	69.49	68.79	68.11	67.56
SB8	70.00	69.30	68.61	67.92	67.38
SB9	70.00	69.30	68.61	67.92	67.38
SB10	73.37	72.64	71.91	71.19	70.62
SB11	70.03	69.33	68.64	67.95	67.41
SB12	70.78	70.07	69.37	68.68	68.13
SB13	70.00	69.30	68.61	67.92	67.38
SB14	70.00	69.30	68.61	67.92	67.38
SB15	66.80	66.13	65.47	64.82	64.30
SB16	58.02	57.44	56.87	56.30	55.85
SB17	64.77	64.12	63.48	62.85	62.34
<b>Q simulado</b>	3462.00	3405.70	3350.60	3296.60	<b>3254.40</b>
<b>Q observado</b>	3251.40	3251.40	3251.40	3251.40	<b>3251.40</b>
<b>error (%)</b>	6.48%	4.75%	3.05%	1.39%	<b>0.09%</b>

### Caudales máximos para diferentes distribuciones probabilísticas

En la presentación de la tabla que muestra los valores máximos de caudal para un periodo de retorno de 100 años, se destacan los resultados obtenidos mediante el análisis de cinco distribuciones diferentes. La disposición de la tabla facilita la comparación entre las diferentes distribuciones y sus respectivos impactos en los caudales máximos esperados. Esta presentación proporciona una visión clara y concisa de cómo las distintas distribuciones afectan la estimación de valores extremos de caudal para el periodo de retorno seleccionado.

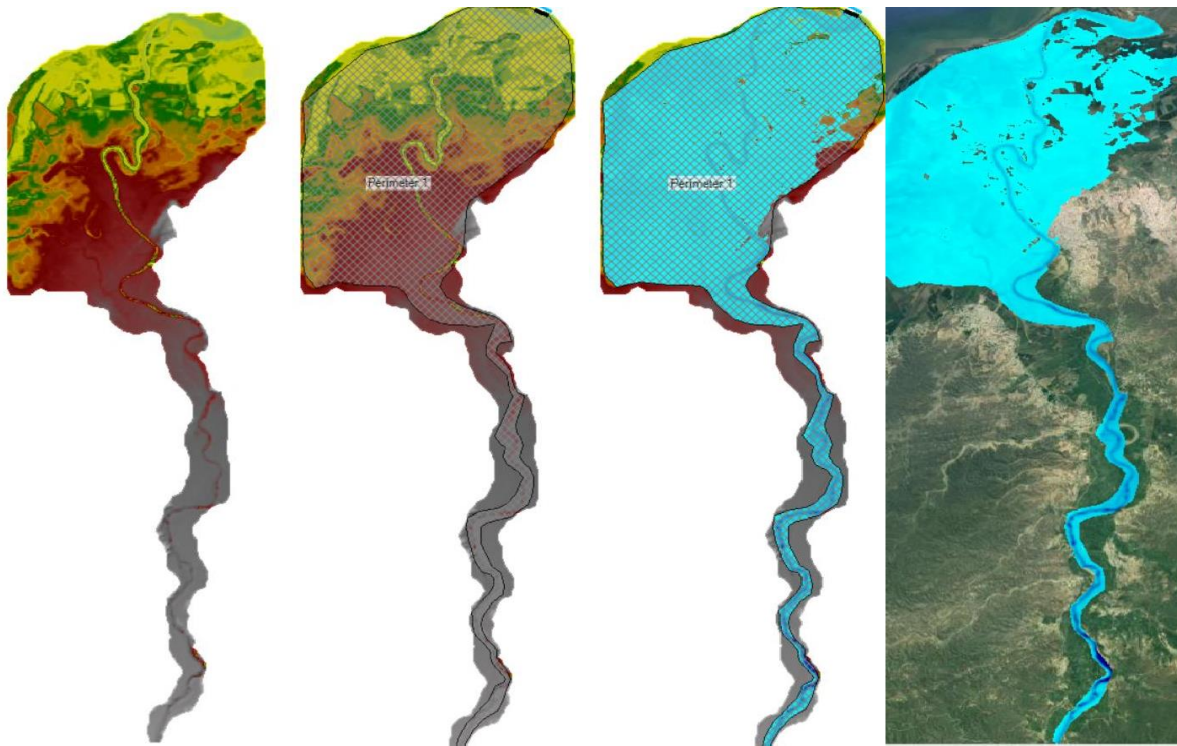
Tabla 9 Caudales para diversos periodos de retorno para cada distribución probabilística

Estación	Gumbel Max	Normal	Log Normal	Log Normal 3P	Log Pearson 3P
TR 50 AÑOS	3455.40	3042.30	3956.10	3770.70	3695.90
TR 100 AÑOS	3873.10	3251.40	4599.30	4327.00	4179.90
TR 200 AÑOS	4838.20	3674.80	5279.20	5706.60	4664.20

### Modelización hidrodinámica con HEC-RAS 2D

En el contexto de la modelización utilizando HEC-RAS, se abordó un enfoque por etapas con una batimetría de resolución de 10 metros. En la primera fase (1), se importó la batimetría y se georreferenció en la proyección 17S. La segunda etapa (2) implicó la generación del dominio y la malla computacional con una resolución específica. En la tercera fase (3), se llevó a cabo la simulación utilizando un hidrograma con un intervalo de 30 minutos y condiciones normales de aguas bajas. La última etapa, la cuarta (4), consistió en la incorporación de un mapa satelital para completar el proceso. Donde se visualiza en la siguiente gráfica.

Figura 6 Proceso de modelización con HEC-RAS 2D



Es posible llevar a cabo la evaluación en múltiples puntos a lo largo del tramo, específicamente en la ciudad de Tumbes. En este escenario, se puede establecer secciones transversales para comparar las velocidades y tirantes en términos de distribuciones probabilísticas diversas.

Figura 7 Proceso de modelización con HEC-RAS 2D

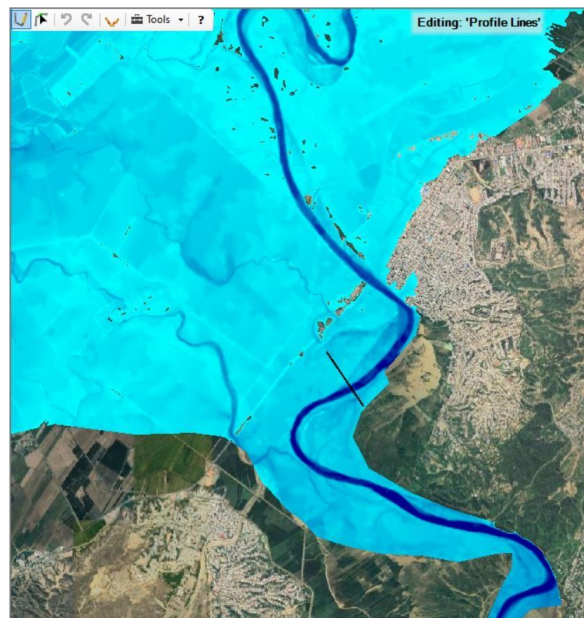


Figura 8 Proceso de modelización con HEC-RAS 2D

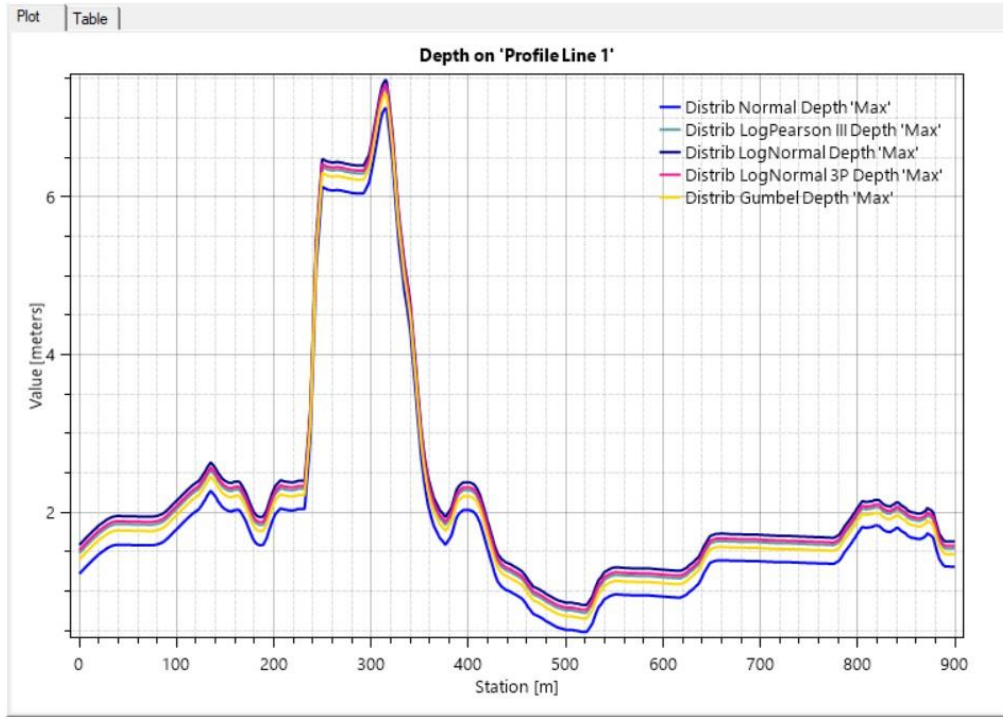
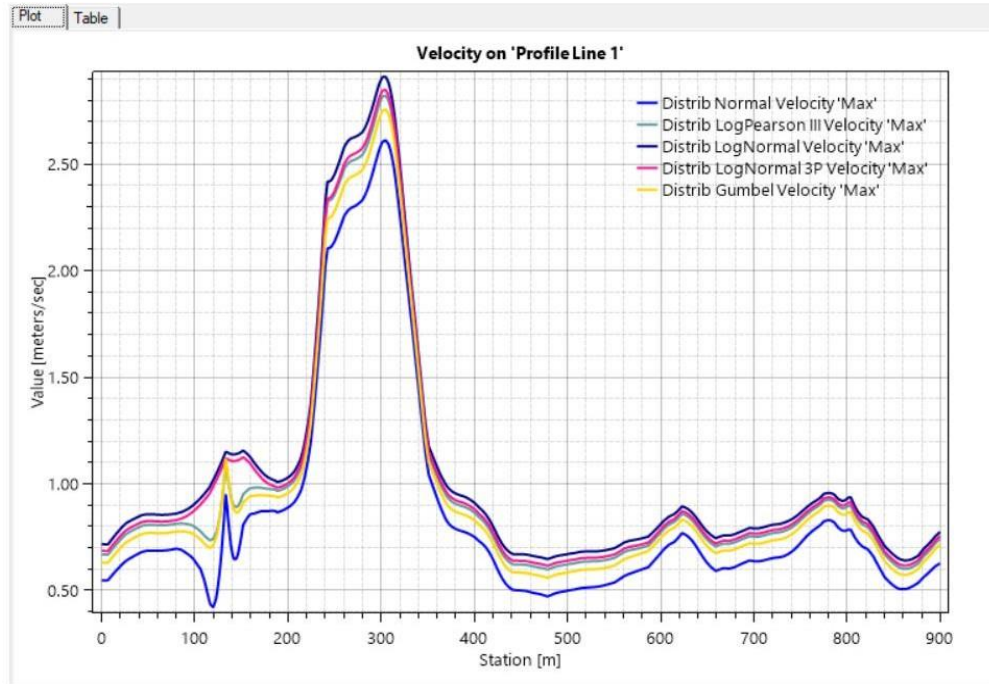


Figura 9 Proceso de modelización con HEC-RAS 2D



En relación con los tirantes, se observan intervalos que van desde un mínimo de 7.129 metros en el caso de la distribución normal hasta un máximo de 7.484 metros para la distribución logarítmica normal. Esto implica una variación porcentual de 4.98% entre el valor mínimo y máximo. En cuanto a las velocidades, se registran valores que oscilan entre 2.613 y 2.910 para las distribuciones normal y logarítmica normal, con una variación del 11.36% entre el valor mínimo y máximo. Es importante destacar que las estaciones meteorológicas se ajustan a las distribuciones logarítmica normal.

Tabla 10 Tirantes y velocidades para cada distribución probabilística

Parámetros	Gumbel Max	Normal	Log Normal	Log Normal 3P	Log Pearson 3P
Tirantes	7.305	7.129	7.484	7.420	7.384
Velocidades	2.757	2.613	2.910	2.849	2.822

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Diversas investigaciones, como la realizada por (Chanjin & Dong, 2023), subrayan la importancia de evaluar el periodo de retorno asociado a desbordes fluviales. En este contexto, se ha observado que, para un periodo de retorno de 100 años, se registran desbordes en ambas riberas. La selección de la distribución más adecuada se lleva a cabo mediante pruebas de bondad de ajuste. En el caso específico de este proyecto, se ha determinado que la información pluviométrica se ajusta de manera óptima a la distribución Log Normal. Es relevante señalar que, aunque la distribución Log Normal exhibe un ajuste superior, se consideran otras distribuciones con el fin de evaluar las correspondientes manchas de inundación. La distribución Normal, por ejemplo, presenta el menor valor en comparación con otras distribuciones. Esto implica que la distribución Log Normal, al ser la que mejor se ajusta, genera valores superiores en términos de tirantes y velocidades en el contexto de desbordes fluviales. Este análisis técnico respalda la elección de la distribución Log Normal como la más adecuada para modelar el comportamiento hidrológico en el proyecto, destacando su capacidad para representar de manera más precisa los eventos extremos asociados a inundaciones.

La investigación de Muñoz y Quinde (2021), se afirma que las regiones con niveles considerables de inundación, ya sea de moderada o alta intensidad, representan un riesgo potencial para la seguridad de las personas, complicando las tareas de evacuación. Esta complejidad surge cuando la profundidad del agua alcanza al menos 0.3 metros y la velocidad del flujo alcanza los 5 metros por segundo. En las áreas cercanas a la ciudad de Tumbes, estos valores son superados tanto en tirantes como en velocidades. Por consiguiente, al modelar las áreas de inundación y sus parámetros hidráulicos, se abre la posibilidad de proyectar diversas estructuras de protección lateral. Este enfoque se basa en estudios preliminares que han estimado el caudal de diseño de manera que se pueda ofrecer una protección adecuada.

## CONCLUSIONES

Se empleó el modelo hidrológico HEC-HMS con el propósito de determinar el caudal mediante simulaciones de lluvia-escorrentía. La simulación se centró en el caudal de salida del punto de medición en la estación hidrométrica El Tigre, y se comparó con los valores medidos por el medidor de caudal. Se observó un error inferior al 1% al ajustar el parámetro del número de Curva. Donde se concluye lo siguiente relacionado al modelo HEC-HMS.

- Los resultados de simulación de los picos de descarga de escorrentía son ligeramente diferentes en comparación con los datos observados.
- La zona de interés no cuenta con una estación de descarga disponible distinta de la situada cerca a la parte alta, que podría ayudar a validar la escorrentía de dichas zonas para mayor aproximación en la representación de la cuenca.
- Durante la modelización con HEC-HMS, se observó que los principales parámetros que afectan a las cantidades de escorrentía eran el número de curva y luego la abstracción inicial.

Se utilizó el modelo HEC-RAS para representar las áreas inundadas, y los resultados indican lo siguiente, en términos de tirantes de agua, se observa una variación de 4.98% entre los valores mínimos y máximos, con un mínimo de 7.129 metros en la distribución normal y un máximo de 7.484 metros en la distribución logarítmica normal. Respecto a las velocidades del agua, se registra una variación del 11.36%, con valores que van desde 2.613 m/s hasta 2.910 m/s para las distribuciones normal y logarítmica normal, respectivamente.

- Los resultados de la simulación hidrodinámica que muestra las áreas inundadas se visualizan a través del RAS Mapper incorporado en el software. Además, se destaca que la batimetría recopilada coincide con la extensión de inundación registrada en el año 2017.
- El hidrograma de entrada fue generado mediante el uso del modelo HEC-HMS. La duración total de este hidrograma se basa en la finalización de la tormenta, con un periodo adicional que permite que toda la lluvia alcance el punto de medición. Esta estrategia asegura que el hidrograma del tramo se complete hasta el punto donde ocurre la deflexión en la curva de descenso.
- La elección del tamaño de malla se realizó de manera que coincidiera con la resolución de la batimetría. Esto se hizo para evitar problemas en la simulación, y además, se observó que este tamaño generaba valores más bajos en términos de velocidades y tirantes.
- En la estimación del paso de tiempo, se empleó la velocidad erosiva del tramo con la mayor pendiente. El valor de este tiempo se determinó como 1 segundo.
- La calibración del modelo se llevó a cabo utilizando mediciones en el río durante varios días. Se aplicó el método del flotador para obtener datos de velocidades y tirantes en condiciones de caudales diversos. El objetivo era determinar de manera precisa el valor del coeficiente de rugosidad de Manning para el modelo, y se obtuvo un valor de 0.039.

## REFERENCIA

- ANA. (2020). Evaluación del régimen hidrológico en las cuencas de los ríos Chillón, Rimac, Mala y Cañete para escenarios de cambio climático. Lima - Perú.
- Chanjin, J., Dong, K. (2023). Selection of Elevation Models for Flood Inundation Map Generation in Small Urban Stream: Case Study of Anyang Stream. China.
- Din, S., & Khan, N. (2019). Runoff modelling using HEC HMS for rural watershed. Development.
- Driouech, F., & Mahé, G. (2010). Evaluation d'impacts potentiels de changements climatiques sur l'hydrologie du bassin versant de la Moulouya au Maroc. Water Science and Application.
- Duan, Q., & Gupta, H. (2003). Calibration of Watershed Models. Water Science and Application.
- Hadour, A., & Mahé, G. (2020). Watershed based hydrological evolution under climate change effect: An example from North Western Algeria.
- Hernández, R. (2014). Metodología de la investigación. México: Interamericana Editores.
- Huntington, T. (2006). Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. Journal of Hydrology
- McCarthy, G. (1939). The unit hydrograph and flood routing. In Proceedings of the Conference of North Atlantic Division, US Army Corps of Engineers, New London. USA.
- Muñoz, H., Quinde, F. (2021). Modelamiento Hidrológico e Hidráulico de la Quebrada San Idelfonso para localizar áreas de inundación en Trujillo utilizando HEC-HMS y HEC-RAS. Lima
- Nagy, B. (2017). *Flood frequency analysis for a braided river catchment in New Zealand: Comparing annual maximum and partial duration series with varying record lengths*. Journal of Hydrology.
- Norheim, S. (2018). *Flood frequency analysis: Comparing annual maximum series and peak over threshold*. Sogndal.
- Palomino, J. (2022). Estimación de los caudales medios mensuales de la cuenca alta del Huallaga aplicando un modelo hidrológico racional con imágenes satelitales. Lima.
- Tassew, B.; & Belete, M. (2019). Application of HEC-HMS model for flow simulation in the Lake Tana basin: The case of Gilgel Abay catchment, upper Blue Nile basin. Ethiopia.
- Youssef, H., & Simonneaux, V. (2018). Modélisation pluie-débit et analyse du régime d'un bassin versant semi-aride sous influence nivale. Cas du bassin versant du Rheraya. Agro-hydrology in semi-arid areas, 49-62.

*Consuelo Sinforoso C; Jaulis Palomino R.*  
**SEMBLANZA DE LOS AUTORES**



**Consuelo Leyla, Sinforoso Chávez.** Pertenece al Programa de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión – Perú.



**Reymundo Jaulis Palomino.** Pertenece al Programa de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión – Perú.

Evidencia de Sumisión “EVALUACIÓN DE DISTRIBUCIONES PROBABILÍSTICAS PARA  
PREDECIR INUNDACIONES FLUVIALES DEL RÍO TUMBES, EN EL TRAMO DE LA CIUDAD  
DE TUMBES”

## Enviar un artículo

1. Inicio

2. Cargar el envío

3. Introducir los metadatos

4. Confirmación

5. Sigüientes pasos

### Envío completo

Gracias por su interés por publicar con Revista Ciencia y Tecnología El Higo.

#### ¿Y ahora qué?

La revista ha sido notificada acerca de su envío y se le enviará un correo electrónico de confirmación para sus registros. Cuando el editor haya revisado el envío, se contactará con usted.

Por ahora, usted puede:

- [Revisar este envío](#)
- [Crear un nuevo envío](#)
- [Volver al escritorio](#)



Leyla Sinforoso Chavez &lt;leyla.consuelo.2108@gmail.com&gt;

---

**[elhigo] Envío recibido**

1 mensaje

---

**postmaster@camjol.info** <postmaster@camjol.info>

19 de marzo de 2024, 9:06 p.m.

Responder a: "Alba Veranay Díaz Corrales, Dra." &lt;revistaelhigo@norte.uni.edu.ni&gt;

Para: Consuelo Leyla Sinforoso Chávez &lt;leyla.consuelo.2108@gmail.com&gt;

Consuelo Leyla Sinforoso Chávez:

Gracias por enviarnos su manuscrito "EVALUACIÓN DE DISTRIBUCIONES PROBABILÍSTICAS PARA PREDECIR INUNDACIONES FLUVIALES DEL RÍO TUMBES, EN EL TRAMO DE LA CIUDAD DE TUMBES" a Revista Ciencia y Tecnología El Higo. Gracias al sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito: <https://camjol.info/index.php/elhigo/authorDashboard/submission/17684>

Nombre de usuario/o: leylasinforoso

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactar con nosotros/as. Gracias por tener en cuenta esta revista para difundir su trabajo.

Alba Veranay Díaz Corrales, Dra.

---

[Revista Ciencia y Tecnología El Higo](#)



Leyla Sinforoso Chavez &lt;leyla.consuelo.2108@gmail.com&gt;

---

## Artículo Científico Recibido - "EVALUACIÓN DE DISTRIBUCIONES PROBABILÍSTICAS PARA PREDECIR INUNDACIONES FLUVIALES DEL RÍO TUMBES, EN EL TRAMO DE LA CIUDAD DE TUMBES"

1 mensaje

---

Alba Veranay Diaz Corrales <Alba.Diaz@norte.uni.edu.ni>  
Para: Leyla Sinforoso Chavez <leyla.consuelo.2108@gmail.com>

20 de marzo de 2024, 12:45 p.m.

Estimados autores, reciban un cordial saludo

Artículo enviado a la revista El Higo confirmo recibido. Iniciaremos en el proceso de revisión.

Comparto enlace para más información: <https://camjol.info/index.php/elhigo>

Agradecemos el envío de su contribución científica.

Saludos cordiales,

**Alba V. Díaz Corrales, Dra.**  
**Docente Titular**  
**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Centro Universitario Regional, Estelí**  
**Tel. +(505) 86967849**

Favor Acuso de Recibido

---

**De:** Leyla Sinforoso Chavez <[leyla.consuelo.2108@gmail.com](mailto:leyla.consuelo.2108@gmail.com)>

**Enviado:** martes, 19 de marzo de 2024 23:51

**Para:** revista higo norte <[revistaelhigo@norte.uni.edu.ni](mailto:revistaelhigo@norte.uni.edu.ni)>; Alba Veranay Diaz Corrales <[Alba.Diaz@norte.uni.edu.ni](mailto:Alba.Diaz@norte.uni.edu.ni)>

**Asunto:** Envió Artículo Científico de Investigación - "EVALUACIÓN DE DISTRIBUCIONES PROBABILÍSTICAS PARA PREDECIR INUNDACIONES FLUVIALES DEL RÍO TUMBES, EN EL TRAMO DE LA CIUDAD DE TUMBES"

Estimados Sres. "Revista Ciencia y Tecnología El Higo"  
Buen día

Reciba un cordial saludo de nuestra parte, deseando bendiciones y éxitos en sus funciones diarias. En esta oportunidad, nos dirigimos a vuestra persona y institución con la finalidad de realizar el envío de nuestro Artículo Científico de Investigación correspondiente: "EVALUACIÓN DE DISTRIBUCIONES PROBABILÍSTICAS PARA PREDECIR INUNDACIONES FLUVIALES DEL RÍO TUMBES, EN EL TRAMO DE LA CIUDAD DE TUMBES"  
Por otro lado, se adjunta la "CARTA DE ORIGINALIDAD".

Sin otro particular y seguros de contar con vuestra atención a la presente,

Atentamente,

Consuelo Leyla Sinforoso  
**Autor(a)**



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

RESOLUCIÓN N° 0389-2023/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 25 de julio de 2023

**VISTO:**

El expediente de **Sinforoso Chávez, Consuelo Leyla**, identificado(a) con Código Universitario N° 201410871, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

**CONSIDERANDO:**

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Sinforoso Chávez, Consuelo Leyla**, ha solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Evaluación de distribuciones probabilísticas para predecir inundaciones fluviales del río Tumbes, en el tramo de la ciudad de Tumbes" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 25 de julio de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

**SE RESUELVE:**


Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Evaluación de distribuciones probabilísticas para predecir inundaciones fluviales del río Tumbes, en el tramo de la ciudad de Tumbes**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar como asesor a **Mg. Reymundo Jaulis Palomino** para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Ing. Ferrer Canaza Rojas** y **Ing. David Diaz Garamendi**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



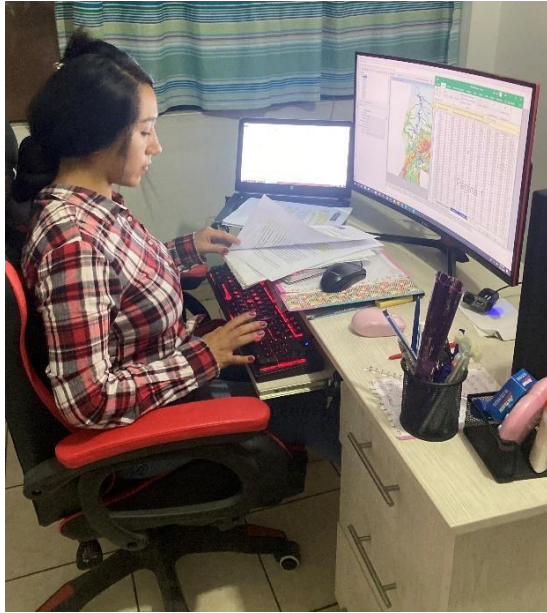
  
Dra. Erika Inés Acuña Salinas  
**DECANA**



  
Mg. Ketty Magaly Arellano Lino  
**SECRETARIA ACADÉMICA**

cc:  
-Interesado  
-Asesor  
-Dirección General de Investigación  
-Archivo

**ANEXO 01:** Trabajo en Gabinete – Realización de los modelos hidrológicos e hidráulicos



**ANEXO 02:** Trabajo en Campo – Estimación de parámetros hidráulicos en el río Tumbes – Método del Flotador (Alineación de los puntos a evaluar)



**ANEXO 03:** Trabajo en Campo – Estimación de parámetros hidráulicos en el río Tumbes – Método del Flotador (Velocidad de punto a punto)



ANEXO 04: Reporte de Turnitin

Evaluación de distribuciones probabilísticas para predecir inundaciones fluviales del río Tumbes, en el tramo de la Ciudad de Tumbes

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://www.mdpi.com">www.mdpi.com</a> Fuente de Internet	7%
2	Submitted to Universitas Muhammadiyah Sinjai Trabajo del estudiante	2%
3	Komal Vashist, K. K. Singh. "HEC-RAS 2D modeling for flood inundation mapping: a case study of the Krishna River Basin", Water Practice and Technology, 2023 Publicación	1%
4	<a href="http://repository.pauwes-cop.net">repository.pauwes-cop.net</a> Fuente de Internet	1%
5	Sichao Qin, Bingjie Dai, Jiaao Yan, Pengfei Li, Zhonghua Liu, Xi Chen. "Human Gait Symmetry Analysis Based on Human Electrostatic Fields", IEEE Sensors Journal, 2023 Publicación	<1%