

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

“Desarrollo de un modelo hidrodinámico bidimensional para la predicción de inundaciones fluviales en la ciudad de Tumbes - 2023”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: Martel Quispe, Clider Deyvid

ASESORA: Trujillo Ariza, Yelen Lisseth

HUÁNUCO – PERÚ

2024

U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Hidráulica
AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería civil

Disciplina: Ingeniería civil

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniero Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 46892743

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 70502371

Grado/Título: Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental

Código ORCID: 0000-0002-5650-3745

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Suarez Landauro, Reynaldo Favio	Maestro en gestión pública	22498065	0000-0002-4641-3797
2	Valdivieso Echevarria, Martin Cesar	Maestro en gestión pública	22416570	0000-0002-0579-5135
3	Jara Trujillo, Alberto Carlos	Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41891649	0000-0001-8392-1769

D

H



UNIVERSIDAD DE HUANUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO

(A) CIVIL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 16: 15 horas del día **lunes 06 de mayo de 2024**, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los **Jurados Calificadores** integrado por los docentes:

- ❖ MG. REYNALDO FAVIO SUAREZ LANDAURO - PRESIDENTE
- ❖ MG. MARTIN CÉSAR VALDIVIESO ECHEVARRÍA - SECRETARIO
- ❖ MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO - VOCAL

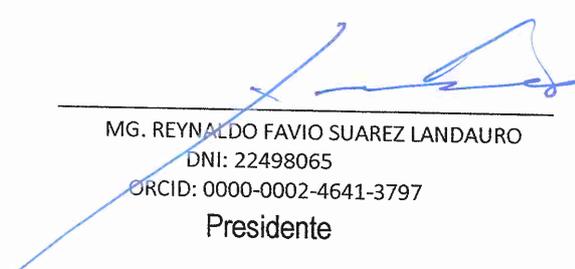
Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 0896-2024-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: **“DESARROLLO DE UN MODELO HIDRODINAMICO BIDIMENSIONAL PARA LA PREDICCIÓN DE INUNDACIONES FLUVIALES EN LA CIUDAD DE TUMBES - 2023”**, presentado por el (la) Bachiller. **Bach. Cíder**

Deyvid MARTEL QUISPE, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) **APROBADO**... por **UNANIMIDAD** con el calificativo cuantitativo de **14** y cualitativo de **SUFICIENTE** (Art. 47).

Siendo las **17^h 15'** horas del día 06 del mes de mayo del año 2024, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.



MG. REYNALDO FAVIO SUAREZ LANDAURO
DNI: 22498065
ORCID: 0000-0002-4641-3797
Presidente



MG. MARTIN CÉSAR VALDIVIESO ECHEVARRÍA
DNI: 22416570
ORCID: 0000-0002-0579-5135
Secretario



MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO
DNI: 41891649
ORCID: 0000-0001-8392-1769
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: CLIDER DEYVID MARTEL QUISPE, de la investigación titulada “Desarrollo de un modelo hidrodinámico bidimensional para la predicción de inundaciones fluviales en la ciudad de Tumbes - 2023”, con asesora YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA, designada mediante documento: RESOLUCIÓN N° 407-2021-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 23 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 09 de agosto de 2024



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO
D.N.I.: 40618286
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

Martel Quispe Clider Deyvid (1).docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

23%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.upao.edu.pe

Fuente de Internet

8%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

5%

3

hmong.es

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.uancv.edu.pe

Fuente de Internet

1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO,
D.N.I.: 47074047

cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO
D.N.I.: 40618286

cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, al divino creador por la vida y salud, a mis padres por su gran amor y el apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida sobre todo en mi etapa como estudiante, son el motor e impulso de mi vida y también a mi querida esposa e hijos por el gesto de amor y paciencia para no rendirme y poder lograr todas mis metas con amor y paciencia.

AGRADECIMIENTO

Tengo el agrado de dar gracias a todos los docentes de la universidad de Huánuco, porque gracias a ellos que me dieron la gran ayuda para poder cumplir y desarrollar correctamente todas mis habilidades y de la misma forma me proporcionaron los conocimientos indispensables para poder culminar y desempeñarme en todos los años de mi carrera, un agradecimiento especial a mi asesor que con su ayuda puede concluir con éxito esta tesis.

También tengo que agradecer a mi familia por ser la columna principal en cada momento de mi vida y estar ahí siempre para mí, con su apoyo y su motivación para poder desempeñar correctamente todas mis habilidades.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCION.....	XII
CAPÍTULO I.....	13
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	14
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	14
1.3. OBJETIVOS	14
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	14
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	15
1.4.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	15
1.4.3. JUSTIFICACIÓN PRACTICA.....	15
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.6.1. VIABILIDAD OPERATIVA.....	16
1.6.2. VIABILIDAD TÉCNICA	16
1.6.3. VIABILIDAD ECONÓMICA.....	16
CAPÍTULO II.....	17
MARCO TEÓRICO	17
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	17
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	17
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	18
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	19

2.2. BASES TEÓRICAS	20
2.2.1. CICLO HIDROLÓGICO	20
2.2.2. CUENCA HIDROGRÁFICA	21
2.2.3. PROCESOS METEOROLÓGICOS	24
2.2.4. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS	27
2.2.5. PERIODO DE RETORNO	28
2.2.6. SELECCIÓN DEL PERIODO DE RETORNO.....	28
2.2.7. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES.....	29
2.2.8. CURVAS IDF	31
2.2.9. HIETOGRAMA DE DISEÑO	33
2.2.10. MODELOS HIDROLÓGICOS	34
2.2.11. DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL PARA SIMULACIÓN DE RÍOS	37
2.2.12. NIVELES DE SEVERIDAD DE INUNDACIÓN.....	46
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	48
2.4. HIPÓTESIS	50
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	50
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	50
2.5. VARIABLES	50
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE	50
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE	50
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	51
CAPÍTULO III	52
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	52
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	52
3.1.1. ENFOQUE	52
3.1.2. ALCANCE O NIVEL.....	52
3.1.3. DISEÑO	52
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	53
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	54
3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	54
CAPÍTULO IV.....	55
RESULTADOS.....	55

4.1. REPRESENTACIÓN HIDROLÓGICA PARA LA PREDICCIÓN DE AVENIDAS MÁXIMAS.....	55
4.2. REPRESENTACIÓN HIDRODINÁMICA DEL RIO DE ESTUDIO	79
4.3. SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DEL RIO DE ESTUDIO.....	84
4.4. NIVELES DE SEVERIDAD.....	85
CAPÍTULO V.....	88
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	88
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES.....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
ANEXOS.....	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clases de Cuencas por Áreas	21
Tabla 2 Características de la Cuenca de Acuerdo con el Valor K_c	22
Tabla 3 Período de retorno de diseño recomendado para estructuras pequeñas	28
Tabla 4 Distribución de Probabilidades y Función	29
Tabla 5 Lineamientos de Curvas IDF.....	31
Tabla 6 Tipos de Inundaciones	46
Tabla 7 Operacionalización de variables	51
Tabla 8 Estaciones meteorológicas	59
Tabla 9 Valores de precipitación mensual máxima durante 24 horas (mm) de la estación Cabo inga. Distrito San Jacinto, Provincia y departamento de Tumbes.....	61
Tabla 10 Precipitación máxima 24 horas	63
Tabla 11 Depuración de outliers	64
Tabla 12 Valores K_n , para la prueba de datos dudosos	64
Tabla 13 Uso de las distribuciones de probabilidad.....	65
Tabla 14 Prueba bondad de ajuste	70
Tabla 15 Precipitación máxima corregida	71
Tabla 16 Región Hidrológica y parámetros	73
Tabla 18 Subdivisión de zonas pluviométricas	74
Tabla 19 Precipitación de diseños para duraciones menor a 24 horas.....	75
Tabla 20 Intensidades de diseños para duraciones menor a 24horas.....	75
Tabla 21 Curvas IDF- Estacion Cabo inga.....	76
Tabla 22 Método del bloque alterno.....	76
Tabla 23 Calibración del modelo hidráulico	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo Hidrológico	20
Figura 2 División de la Cuenca	22
Figura 3 Atributos de la Forma de una Cuenca	23
Figura 4 Gráfica Distribución de Probabilidades	29
Figura 5 Distribuciones de Probabilidades Usadas en Hidrología	30
Figura 6 Ejemplos de Curvas IDF	32
Figura 7 Ejemplo de Hietograma de Diseño	34
Figura 8 Modelación Hidrológica.....	35
Figura 9 Modelos Hidrológicos Según su Distribución Espacial	37
Figura 10 Optimización del Mallado.....	44
Figura 11 Configuración del software HEC-RAS	45
Figura 12 Niveles de Severidad/Intensidad Respecto a la Profundidad y Velocidad del Flujo.....	47
Figura 13 Esquema de diseño de investigación	53
Figura 14 Área de estudio: Ciudad de Tumbes.....	53
Figura 15 Modelo digital de elevación.....	55
Figura 16 Flujo direccional y acumulado.....	56
Figura 17 Red de drenaje	57
Figura 18 Modelo hidrológico de la cuenca Tumbes.....	58
Figura 19 Estaciones meteorológicas involucradas a la cuenca de estudio	59
Figura 20 Histograma anual de la Estacion Cabo Inga.....	60
Figura 21 Distribución Normal para la Estación Meteorológica Cabo Inga ..	67
Figura 22 Distribución Gumbel para la Estación Meteorológica Cabo Inga .	67
Figura 23 Distribución Log Normal para la Estación Meteorológica Cabo Inga	68
Figura 24 Distribución Pearson Tipo III para la Estación Meteorológica Cabo Inga.....	68
Figura 25 Distribución Log Pearson Tipo III para la Estación Meteorológica Cabo Inga	69
Figura 26 Subdivisión de zonas pluviométricas	73
Figura 27 Hietograma de TR 100 años - Cabo inga	77
Figura 28 Histograma de diseño.....	78

Figura 29 Batimetría del río Tumbes.....	79
Figura 30 Mallado del dominio	80
Figura 31 Tiempo de paso computacional vs tiempo de simulación	81
Figura 32 Velocidades con diferentes valores de Manning.....	82
Figura 33 Tirantes con diferentes valores de Manning	82
Figura 34 Tirantes de agua	84
Figura 35 Velocidades	84
Figura 36 Niveles de agua	85
Figura 37 Calculadora raster	85
Figura 38 Reclasificación	86
Figura 39 Niveles de severidad genera	86
Figura 40 Niveles de severidad.....	87

RESUMEN

La presente investigación fue titulada “Desarrollo de un modelo hidrodinámico bidimensional para la predicción de inundaciones fluviales en la ciudad de Tumbes - 2023” se realizó con la finalidad de desarrollar un modelo bidimensional hidrodinámico para predecir inundaciones fluviales en la Ciudad de Tumbes. Las consideraciones para el modelo hidrológico, fue trabajar con 16 estaciones meteorológicas, que tienen 36 años de información de lluvia. Y trabajar con diversas distribuciones probabilísticas para obtener lluvias máximas para diferentes periodos de retorno, ajustando la curva con la prueba de bondad de ajuste Kolgomorov Smirnov. Dando como resultados finales en el modelo semidistribuido un hidrograma centenera río con un caudal pico superior a los 6,000 m³/s. Las consideraciones para el modelo hidráulico, fue trabajar con una extensión del río de 4.5 km², donde se calibro el modelo con un 2.57% de error en velocidades y 8.31% en tirantes. Teniendo consigo un promedio de 5.44% de error y una representación superior al 94%, concluyendo que el modelo escogido representa correctamente el movimiento del flujo de agua, teniendo un buen performance. Teniendo como áreas que representa un nivel de severidad baja, equivale a 0.82 Km² de la ciudad de Tumbes, 0.31 Km² representa a un nivel de severidad media, 0.14 Km² nivel de severidad alta. Concluyendo que la ciudad de tumbes tienes niveles de severidad ante inundación, desde muy bajo hasta muy alto, con ello las autoridades pueden realizar sus medidas respectivas.

Palabras clave: modelo hidrodinámico bidimensional, inundación fluvial, severidad, sistema hidrológico, hidrodinámica.

ABSTRACT

The present research was titled "Development of a two-dimensional hydrodynamic model for the two-dimensional model for the prediction of fluvial floods in the city of Tumbes 2023. - 2023" was carried out with the purpose of developing a two-dimensional hydrodynamic model for the hydrodynamic model to predict fluvial floods in the city of Tumbes. The considerations for the hydrological model were to work with 16 meteorological stations, which are 36 years old. stations, which have 36 years of rainfall information. And to work with different probabilistic distributions to obtain maximum rainfall for different return periods, adjusting different return periods, fitting the curve with the Kolgomorov Smirnov Smirnov goodness-of-fit test. fitting the curve with the Kolgomorov Smirnov goodness-of-fit test. The final results for the semi-distributed model model a centennial river hydrograph with a peak flow of more than 6,000 m³/s. 6,000 m³/s. The considerations for the hydraulic model, was to work with a river extension of 4.5 km², where the model was calibrated with a 2.57% error in velocities and 8.31% in strains. This resulted in an average error of 5.44% and a representation higher than 94%, concluding that the chosen model correctly represents the movement of the water flow, having a good performance. Having as areas that represent a low severity level, it is equivalent to 0.82 Km² of the city of Tumbes, 0.31 Km² represents a medium severity level, and 0.14 Km² represents a high severity level. In conclusion, the city of Tumbes has flood severity levels ranging from very low to very high, so that the authorities can take their respective measures.

Keywords: two-dimensional hydrodynamic model, river flood, severity, hydrologic system, hydrodynamics.

INTRODUCCION

El presente trabajo tiene como objetivo final evaluar las influencias del Desarrollo de un modelo bidimensional hidrodinámico para predecir inundaciones fluviales en la ciudad de Tumbes, se ha delimitado las estaciones meteorológicas que aportan a las quebradas que desembocan en este río y presentar una representación hidrológica e hidrodinámica. La Modelación hidrología, para procesar la información hidrometeorológica e incorporar características geomorfológicas de la cuenca delimitada, con la finalidad de representar escorrentías históricas y la Modelación hidrodinámica, para procesar la información topográfica e hidrológica, con la finalidad de representar flujos históricos.

En el primer capítulo se describe los problemas, las cuestiones generales, específicas y los objetivos que vienen a ser el desarrollo de un modelo bidimensional hidrodinámico para predecir inundaciones fluviales en la Ciudad de Tumbes. En el segundo capítulo el marco teórico junto con una hipótesis que sugiere estudiar las precipitaciones para obtener caudales máximos, en el tercer capítulo y cuarto capítulo se desarrolla con los datos meteorológicos de las estaciones que se tenga, es decir su comportamiento que tiene en función a su orografía y se analizó con las avenidas máximas. La representación hidrodinámica fue de 2.57% de error en velocidades y 8.31% en tirantes. Teniendo consigo un promedio de 5.44 de error y una representación superior al 94% y Las áreas que representa un nivel de severidad baja, equivalen a 0.82 Km² de la ciudad de Tumbes, 0.31 Km² representa a un nivel de severidad media, 0.14 Km² nivel de severidad alta, esto como parte de la obtención de resultados.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las inundaciones son una de las catástrofes naturales consideradas más costosas debido a la amplia gama y variedad de daños que pueden causar. Esto incluye tanto la destrucción directa como la pérdida de bienes materiales y humanos. Además de ser la segunda catástrofe natural que más ha afectado a la población (Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas [OCHA], 2020), Perú se encuentra entre los vigésimos países más vulnerables a múltiples peligros naturales, clasificándose entre los treinta y tres principales países a nivel internacional, con un alto riesgo económico de múltiples peligros (Natural Disaster Hotspots, 2017).

Donde la variedad orográfica permite la presencia de múltiples subgrupos de desastres, como los deslizamientos y las inundaciones, incluso es un tema cotidiano en los últimos años (Luque, 2020). Además, al menos el treinta por ciento de la población de Perú vive en lugares propensos a las inundaciones. La misma calamidad natural ha afectado a la vida de más de 4 millones de personas en todo el continente americano, lo que la sitúa en la tercera posición global. Debido que no existe una correcta planificación demográfica en zonas cercas a los cuerpos de agua y una falta de conciencia de las personas mismas.

Los métodos para mitigar el riesgo de inundaciones urbanas se han convertido en un tema urgente para muchas ciudades de todo el mundo; por ello las evaluaciones de la vulnerabilidad tienen gran importancia para revelar y reflejar el riesgo de desastres por inundaciones urbanas y se han convertido en un componente esencial de la gestión del riesgo de inundaciones en áreas urbanas (Yang et al., 2020).

La ciudad de Tumbes se encuentra en la costa norte de nuestro territorio peruano y se caracteriza porque trae consigo lluvias de alta intensidad con poca duración, que origina desbordamientos en el río Tumbes. Estos

desbordamientos traen representan un gran riesgo social y económico para la localidad debido a su alta exposición y vulnerabilidad frente a inundaciones del río Tumbes. Es por eso que se usara las herramientas de modelación hidrología, para representar los procesos hidrológicos de la cuenca aforada y posterior a ella, construir un modelo hidrodinámico para representar los flujos que hayan pasado en un registro histórico. Finalizando, se evaluará la gestión de inundaciones con mapas de severidad, mediante los resultados de la modelación.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿De qué manera influye el desarrollo de un modelo hidrodinámico bidimensional en la predicción de las inundaciones fluviales en la Ciudad de Tumbes, 2023?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿De qué manera la representación del sistema hidrológico permite predecir las avenidas máximas con diferentes periodos de retorno, en la cuenca Tumbes?

¿De qué manera la representación del sistema hidrodinámico permite predecir inundaciones fluviales en la Ciudad de Tumbes?

¿De qué manera se podrá simular la hidrodinámica de manera efectiva, del flujo del río Tumbes considerando un caudal centenario?

¿De qué manera se podrá obtener los niveles de severidad de inundación en la Ciudad de Tumbes?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la influencia del desarrollo de un modelo bidimensional hidrodinámico para predecir inundaciones fluviales en la Ciudad de Tumbes.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Establecer la representación hidrológica para la predicción de avenidas máximas para diferentes periodos de retorno

Establecer la representación del sistema hidrodinámico para la predicción de inundaciones fluviales en la Ciudad de Tumbes.

Simular la hidrodinámica del flujo del río Tumbes, con una avenida centenaria

Establecer los niveles de severidad de la inundación

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Los conceptos básicos y ecuaciones que gobiernan las herramientas de modelación se llegan encontrar en sus manuales de usuario para mayor comprensión; además diversos artículos o tesis, fundamentan cada aplicación que hacen dentro de esta aplicación. Considerando de igual manera, los reglamentos para la gestión de riesgos de inundación, que fundamentan el uso de estas herramientas para la planificación a priori ante el desastre.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Estas metodologías, se están aplicando en diversas partes del mundo y ello se encuentra fundamentado en los repositorios o revistas indexadas, y es debido su uso de manera concurrente, por la misma necesidad para predecir escenarios catastróficos por parte de la naturaleza o inducida por el hombre.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN PRACTICA

En el departamento de Tumbes, es común que el río Tumbes se desborde, y es precisamente por esta razón que el uso del modelamiento bidimensional resulta una herramienta de gran utilidad para anticipar

futuras inundaciones y evaluar la magnitud de los daños que podrían afectar sus infraestructuras.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La toma de información de caudales, velocidades y tirantes, en temporada de lluvia, es un poco peligrosa por sus corrientes. Es por eso que se usaron datos medidos por la institución de SENAMHI. La topografía tiene un límite de kilometraje, es por eso que se evaluara solamente una parte del río Tumbes, que se encuentra cerca de la ciudad.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. VIABILIDAD OPERATIVA

La información bibliográfica como los artículos, reseñas, tesis, libros y/o conferencias, que se encontraron en la red de manera gratuita; además se espera aportar la investigación a los futuros Tesistas.

1.6.2. VIABILIDAD TÉCNICA

Se contó con el asesoramiento de un ingeniero civil con afines a la de la escuela de ingeniería civil de la Universidad de Huánuco.

1.6.3. VIABILIDAD ECONÓMICA

Toda información necesaria para el desarrollo de la investigación, fue financiada por el Tesista y tiene la suficiente solvencia económica para evitar retardos en las entregas programadas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Cabrera et al. (2020) en su investigación titulada “Evaluación del modelo HEC-HMS para la simulación hidrológica de una cuenca de páramo”, de la Universidad de la Cuenca, Ecuador. Tuvo como objetivo estimar caudales de escorrentía de la Cuenca. Para ello hizo uso de herramientas de modelación hidrológica. Se concluye que el modelo es capaz de representar el sistema hidrológico, debido que simula satisfactoriamente los caudales de escorrentía en la cuenca. La investigación nos ayuda a entender el potencial que tiene el modelo hidrológico Hec-Hms, para representar el proceso hidrológico de nuestra cuenca costera de estudio, es por ello que nos ayudó con el desarrollo del objetivo 1.

Perez et al. (2018) en su investigación titulada “Modelación Hidráulica 2D de Inundaciones en Regiones con Escasez de Datos. El Caso del Delta del Río Ranchería, Riohacha-Colombia”, de la Universidad de La Guajira, Colombia. Tuvo como objetivo solventar escases de datos topográficos e hidrométricos, para la modelación bidimensional de inundaciones del río Ranchería (brazo El Rito). Para ello hizo uso de herramientas de modelación hidrodinámica. Se determina que el uso del modelo hidrodinámico se convierte en un enfoque metodológico que facilita la toma de decisiones por parte de las instituciones competentes, permitiendo una gestión adecuada del riesgo de inundación. La investigación nos ayuda a entender la metodología de usar un modelo bidimensional con fines de inundaciones, como además de solucionar algunos límites que lo contiene la simulación hidrodinámica, es por ello que nos ayudó con el desarrollo del objetivo 3.

Escuder et al. (2010) en su investigación titulada “Análisis y evaluación de riesgos por inundación: estimación del impacto de medidas estructurales y no estructurales”, de la Universidad Politécnica de Valencia, España. El propósito de esta iniciativa fue mejorar la gestión de los riesgos asociados a las inundaciones. Se determina que cualquier enfoque metodológico de análisis de riesgos debe ser visto como una herramienta para fomentar la comunicación abierta y transparente. La investigación nos ayuda a entender los grados de severidad que plantean para la gestión de riesgos de inundación, esto nos ayudó en el objetivo 4. Cabe mencionar, que a pesar que tiene una cantidad mayor de 5 años de antigüedad, este tiene un grado que relaciona el peligro de un catastrofe con resultados de una modelación a posteriori (Tirantes y velocidades), para analizar y evaluar el impacto que se pueda tener. Tanto INDECI (Instituto de Defensa Civil) y CENEPRED (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgo de Desastres), se realizan con su normativa mapas a priori a un evento que podría suceder y no a posteriori.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

La tesis realizada por Alvarez et al. (2022) titulada “Modelamiento hidráulico para el control y prevención de inundaciones mediante el uso de Hec-Ras 2d en la zona urbana del río Piura”, de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Tuvo como objetivo efectuar el modelo hidrodinámico del río Piura comenzando en la Presa Los Ejidos hasta el puente Bolongesi, y proponer estructuras. Para ello se hizo uso de herramientas de modelación hidrodinámica. Se concluye que la simulación del modelo Hec-Ras, muestra la presentación de un 75 por ciento acorde a lo acontecido históricamente, mediante evidencias fotográficas y de imagen satelital, considerando las extensiones del flujo del agua. La investigación nos ayudó a entender como representar la hidrodinámica de nuestro río de estudio y poder aproximarlos a lo acontecido en nuestro registro de esta investigación nos ayudó para el objetivo 2.

Cordova (2022) en su investigación titulada “Aplicación de la herramienta HECRAS 6.1 para el análisis del comportamiento hidráulico del río Piura sector La Encantada, Distrito de Chulucanas – Piura”. Tuvo como objetivo estudiar el comportamiento hidráulico del sector La Encantada en el río Piura con el módulo bidimensional de HECRAS v. 6.1, que mediante el modelamiento numérico, se ha simulado la inundación ocurrida en marzo de 2017 (conocida como FEN Costero), y este modelo ha sido ajustado utilizando áreas inundadas identificadas en imágenes satelitales del Sentinel 2. Al analizar los valores de Froude (0,1 y 0,65), se puede observar que aguas abajo del Puente Ñácara, La estructura se estrecha en relación al flujo y alcanza una velocidad de 4,50 m/s, mientras que los tirantes hidráulicos llegan hasta 6,85 m. Además, se generan altas fuerzas de tracción del orden de 150 N/m². Estos datos muestran que en esta zona se observa una erosión importante durante las inundaciones, teniendo en cuenta el caudal de 2800 m³/s determinado con un período de retorno de 100 años.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Elizalde et al., (2016) en su tesis titulada “Control de las inundaciones en el valle del Río Tumbes mediante la habilitación de un cauce de alivio – Simulación hidráulica”. Tuvo como objetivo determinar el caudal y diseñar el cauce de alivio para comparar la situación actual y la situación con cauce de alivio, para ello, se obró con mallas flexibles un modelo Hidrodinámico bidimensional usando el programa MIKE 21fm abarcando desde el caserío Higuerón (estación El Tigre) hasta la confluencia del río con el Océano Pacífico alcanzando un recorrido de 143,10 km². Donde se propuso generar el cauce de alivio al simular las zonas de crecidas y desbordes del río para disminuir las inundaciones. Producto de las simulaciones se obtuvo el caudal mínimo de desbordes de 723 m³/s, Para caudales en la zona inundada aguas abajo de la margen izquierda al inicio del desbordamiento la reducción es del 100%, y para caudales de 1000 a 1400 m³/s la reducción es de hasta el 75%. Estos resultados deducen que el diseño del cauce de alivio logró mitigar

el impacto de las inundaciones y disminuir las pérdidas económicas y daños al sector aguas debajo de San Jacinto.

2.2. BASES TEÓRICAS

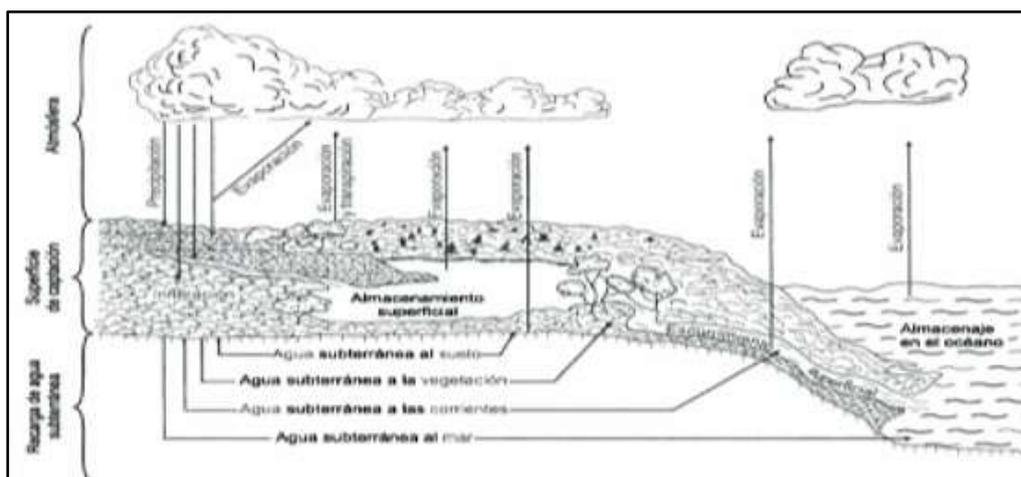
2.2.1. CICLO HIDROLÓGICO

De acuerdo con Chow et al. (1994), el ciclo hidrológico se refiere al proceso mediante el cual el agua de los océanos y la superficie terrestre se evapora con el propósito de ser incorporado a la atmósfera. El vapor de agua es transportado y elevado en la atmósfera para posteriormente condensarse y precipitarse nuevamente sobre la superficie terrestre o los océanos.

El ciclo hidrológico es un fenómeno natural fundamental para el funcionamiento de nuestro planeta. Se caracteriza por ser un circuito cerrado, lo que significa que el agua se recicla constantemente en la Tierra, pasando por diferentes estados físicos como líquido, vapor y hielo. Este proceso vital se sustenta en la interacción de dos fuerzas fundamentales: la energía solar y la gravedad (Ordoñez, 2011).

Figura 1

Ciclo Hidrológico



Nota: Imagen tomada de *Principios de Hidro geografía: Estudio del Ciclo Hidrológico* por (Maderey Rascón, 2005).

2.2.2. CUENCA HIDROGRÁFICA

El término cuenca hidrográfica se utiliza para referirse a un área de tierra en la superficie terrestre donde fluyen las aguas hacia un único punto de descarga. Estas aguas provienen principalmente de precipitaciones, deshielos o fuentes subterráneas (Aguirre, 2011).

Del mismo modo, una cuenca hidrográfica se considera una unidad geográfica e hidrológica que abarca un río principal y los territorios adyacentes desde su nacimiento hasta su desembocadura. Estas cuencas engloban tanto el área física como los ecosistemas circundantes, y comprenden diversas interacciones que influyen en la cantidad y calidad del agua en el curso fluvial. La cuenca se divide en tres zonas distintas: cuenca alta, cuenca media y cuenca baja (International Union for Conservation of Nature [UICN], 2022). Dentro de los elementos fisiográficos de la cuenca, destacan principalmente:

a) Tamaño de la cuenca

Se determina principalmente por su extensión, expresada en kilómetros cuadrados (km²). A continuación, se presentan las categorías de cuencas según sus áreas, detalladas en la siguiente tabla:

Tabla 1

Clases de Cuencas por Áreas

Tamaño	Tamaño de cuenca (Km ²)
Muy grande	5000 a más
Grande	2500 a 5000
Intermedia grande	500 a 2500
Intermedia pequeña	250 a 500
Pequeña	25 a 250
Muy pequeña	Menos de 25

Nota: Tabla Adaptada de *Procesos del Ciclo Hidrológico* por Campos (1998).

Según UICN (2022), los autores clasifican la cuenca en solo tres zonas o tamaño, a saber: cuenca alta, media y baja.

Figura 2

División de la Cuenca



Nota: Imagen Tomada de *Cuenca Hidrográfica* (UICN, 2022).

b) Coeficiente de compacidad (kc)

Propuesto por Gravelius en 1914, es una medida que compara directamente la circunferencia del cauce con su perímetro. Los valores de este coeficiente siempre son mayores a uno y su proximidad a la instalación tiene tendencia a concentrar una gran cantidad de agua de escorrentía. En otras palabras, cuanto más cercano a uno esté este valor, mayor será la concentración de agua en el cauce (Rojo, 2008). Su cálculo se realiza utilizando la siguiente expresión:

$$K_c = \frac{0.282(P_c)}{\sqrt{A}}$$

Donde:

K_c = Coeficiente de compacidad, A = Superficie del cauce, P_c = Perímetro del cauce

Cuencas con C_c cercano a 1.0 tienen más problemas de crecientes (inundaciones).

Tabla 2

Características de la Cuenca de Acuerdo con el Valor K_c

Ítem	Coeficiente de Compacidad	Forma de Cuenca
Clase I	1.0 – 1.25	Oval redonda a casi redonda
Clase II	1.26 – 1.50	Oval oblonga a oval redonda
Clase III	1.51 – 2.0 a más	Rectangular oblonga a oval oblonga

Nota: Tomado y Adaptado de *Morfometría de Cuencas* por (Rojo, 2008).

c) Razón de elongación

Es el resultado de comparar el diámetro y la longitud máxima del cauce de una cuenca. Cuando la cuenca es plana y circular, esta relación se aproxima a la unidad; sin embargo, en otros casos, la relación de elongación se encuentra en el rango de 0,5 a 0,8 (Rojo, 2008). Su expresión matemática es la siguiente:

$$Re = \frac{1.128(\sqrt{A})}{Lc}$$

Donde:

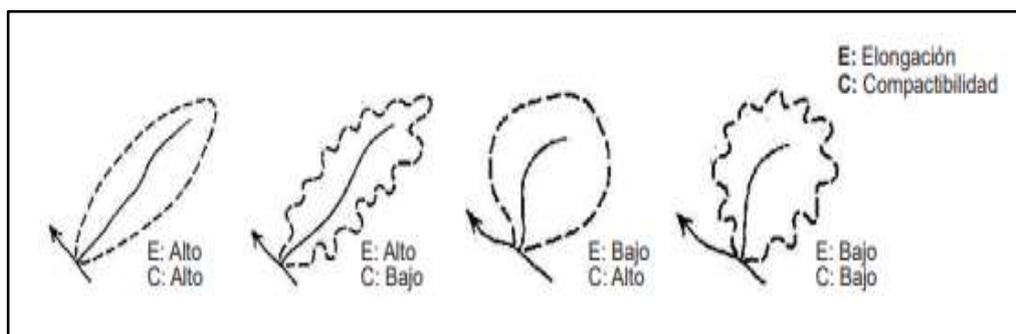
Re = Razón de elongación

Lc = Longitud de cauce (Km)

A = Superficie del cauce (Km²)

Figura 3

Atributos de la Forma de una Cuenca



Nota: Características morfológicas tomadas de la cuenca de la Quebrada La Bermeja en San Cristóbal, Estado por (Guerra & Gonzáles, 2002).

Gradiente promedio de la cuenca

Este factor es uno de los parámetros relativos utilizados para analizar una cuenca y permite comparar características similares con otras cuencas. Al observar fenómenos superficiales de erosión, se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$j = 100 \frac{(\sum Li)(E)}{A}$$

Donde:

j = Gradiente medio del cauce

Li = Longitud de cada curva (Km)

E = Distancia de curva equilátera (Km)

A = Superficies (Km²)

La pendiente media o gradiente del cauce es uno de los elementos fundamentales en un paisaje de erosión fluvial. Junto con otros parámetros, influye en la velocidad del flujo del agua (Guerra & Gonzáles, 2002).

2.2.3. PROCESOS METEOROLÓGICOS

Este tipo de procesos se realiza en la tropósfera, espacio donde se transforma la distribución temporal y espacial del agua a través del ciclo meteorológico.

a) Precipitación

El agua en estado líquido o sólido, formado en la atmósfera, retorna a la superficie en forma de lluvia, nieve y otros fenómenos (Geoenciclopedia, 2011). Este proceso meteorológico es considerado un parámetro climático y, junto con la evaporación, forma parte esencial del ciclo hidrológico en la hidrología (Ministerio de Agricultura, 2007).

b) Evaluación de la precipitación

La cantidad de precipitación se mide mediante la altura del agua acumulada y su unidad más común es el milímetro. También puede expresarse en términos del nivel que alcanzaría sobre una superficie horizontal. Los dispositivos utilizados para medir la precipitación incluyen pluviógrafos o pluviómetros (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 1994).

c) Cálculo de la precipitación media sobre una cuenca

La extracción en las dimensiones de una cuenca hidrográfica da lugar a variaciones en las precipitaciones a lo largo del tiempo y el espacio. Para abordar este aspecto, se utilizan estaciones

pluviométricas. Estas estaciones permiten calcular tanto la cantidad de precipitación caída en una cuenca como el promedio de las lluvias en la misma (Rodríguez, 2013).

Existen tres formas de calcular la precipitación promedio de tormenta o la precipitación promedio anual.:

- Promedio aritmético: implica calcular el promedio de las alturas de precipitación registradas en las estaciones ubicadas en la zona de estudio.
- Polígono de Thiessen: es necesario tener conocimiento de las horas de las estaciones en la zona de estudio. Este método permite delimitar el área de influencia de cada estación dentro de un conjunto de estaciones.
- Curvas Isoyetas: considerado el más preciso, ya que tiene en cuenta la topografía del área de estudio al calcular la precipitación media sobre la cuenca.

$$P_m = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i P_i$$

Donde:

P_m = Precipitación media (mm)

A_T = Área total de cuenca (Km²)

A_i = Área de influencia parcial de la estación en el polígono Thiessen (Km²)

P_i = Precipitación en la estación i (mm)

n = Número de estaciones

La fórmula mostrada es utilizada principalmente para determinar el volumen de agua precipitada sobre un área determinada en un periodo fijo.

d) Análisis Estadístico de los Datos de Lluvia

El objetivo de la estadística es recopilar información básica sobre un conjunto de datos reduciendo un conjunto grande de números a números más pequeños. Un parámetro estadístico representa el valor.

El valor medio o mediana se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

Donde:

\bar{X} = Serie de precipitación media (mm)

X_i = Muestra de precipitación diaria, mensual o anual (mm)

n = Tamaño de la muestra

Desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

S = Desviación estándar

\bar{X} = Serie de precipitación media (mm)

X_i = Muestra de precipitación diaria, mensual o anual (mm)

n = Tamaño de la muestra

Coeficiente de variación: es ampliamente utilizado como un parámetro para comparar la diferencia de la precipitación mensual en una estación de análisis. Se calcula a partir de los valores de los medios y desviaciones estándar correspondientes.

$$C = \frac{S}{\bar{X}}$$

Simetría: el coeficiente de simetría se calcula de la siguiente manera:

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3}$$

2.2.4. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS

El objetivo de este análisis es estimar la probabilidad de que ocurran lluvias en una zona específica de estudio (Servicio Nacional de Estudios Territoriales [SNET], 2001). Ven Te Chow et al. (1994), menciona que los eventos extremos, como tormentas severas o crecidas, eliminan los sistemas hidrológicos. Existe una relación inversa entre la magnitud de un evento extremo y su frecuencia de ocurrencias, lo que significa que los eventos más moderados son menos frecuentes que los eventos extremadamente severos.

El objetivo del análisis de frecuencias es estimar las precipitaciones, inundaciones, intensidades o caudales máximos, según sea apropiado en cada caso (Bermeo et al., 2018).

Según IDEAM (1994), el análisis de frecuencias puede ser realizado de forma gráfica o matemática.

- Enfoque gráfico: El enfoque de este proceso comienza con la ordenación de las observaciones históricas, seguido de la construcción de un gráfico que muestra la magnitud de los eventos en función de su frecuencia de ocurrencias o excedencia. Luego, se elabora una curva simple basada en los puntos representados en el gráfico mencionado anteriormente. El propósito de este enfoque es describir la probabilidad de ocurrencias de un evento futuro.
- Enfoque matemático: este enfoque se basa en la premisa de una distribución de probabilidades específicas que describen matemáticamente los datos. Esta distribución establece una equivalencia con la curva del enfoque gráfico, donde los parámetros se definen como funciones estadísticas de las observaciones hidrológicas.

2.2.5. PERIODO DE RETORNO

De acuerdo con IDEAM (1994), el período de retorno, T_R , de un evento se refiere al número promedio de años en los que se espera que dicho evento se alcance o supere exactamente una vez. En este contexto, no es necesario hacer distinciones en los periodos de retorno entre series anuales y parciales para periodos de retorno superiores a diez.

$$T_R = \frac{1}{P_{(X \geq x)}}$$

Donde:

T_R = Periodo de retorno.

$P_{(X \geq x)}$ = Probabilidad de que ocurra el evento $\geq x$

2.2.6. SELECCIÓN DEL PERIODO DE RETORNO

Para ello es necesario identificar el evento específico que se está considerando y evaluar su importancia, es decir, la magnitud del evento en relación con la frecuencia esperada. También es importante tener en cuenta las estructuras proyectadas en el análisis. A continuación, se presentan algunos ejemplos de períodos de retorno recomendados para el diseño de estructuras de menor escala.

Tabla 3

Período de retorno de diseño recomendado para estructuras pequeñas

Tipo de Estructura	Periodo de Retorno (años)
Puente sobre una carretera importante	50 – 100
Puente sobre una carretera menos importante o alcantarillas sobre una carretera importante	25
Alcantarillas sobre un camino secundario	5 – 10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde puede tolerarse encharcamiento con lluvia de corta duración	1 – 2
Drenaje de aeropuertos	5
Drenaje Urbano	2 – 10
Drenaje agrícola	5 – 10
Muros de encauzamiento	2 – 50
Alcantarillas para carreteras	1.1 – 5

Nota: Tabla Tomada de *Hidrología Estadística* por Villón (2002).

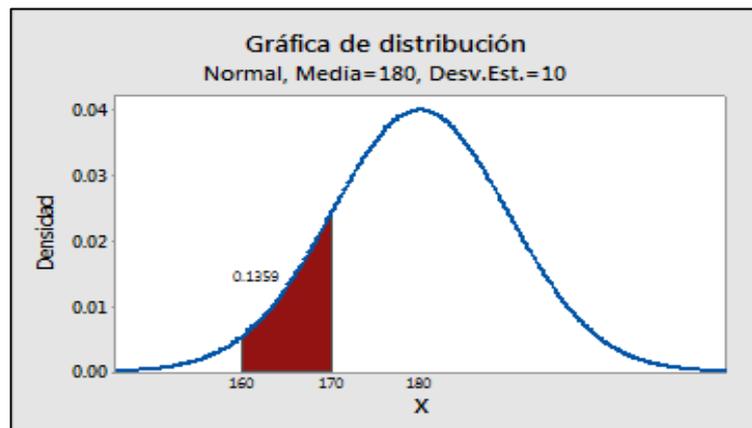
2.2.7. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES

Las distribuciones de probabilidad se utilizan en una variedad de estudios hidrológicos, incluidos estudios de caudales extremadamente altos y bajos, sequías, almacenamiento de agua, precipitaciones y recursos hídricos en modelos de series de tiempo (IDEAM, 1994).

A través del uso de modelos probabilísticos, se llevan a cabo análisis de frecuencia de diferentes eventos que se desean estudiar, según corresponda. Debido a la naturaleza de una variable aleatoria, es necesario caracterizarla de diversas formas, y una de ellas es mediante la distribución de la variable aleatoria o distribución de probabilidad (Bermeo et al., 2018).

Figura 4

Gráfica Distribución de Probabilidades



Nota: Imagen tomada de *Distribuciones de Probabilidad Continuas y Discretas* por (Minitab 18, 2022).

Tabla 4

Distribución de Probabilidades y Función

Distribución de probabilidades	Función
Normal	$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{S}\right)^2}$
Logaritmo Normal 2 parámetros	$P(x \leq x_1) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} \int_{-\infty}^{x_1} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2S^2}} dx$
Logaritmo Normal 3 parámetros	$f(x) = \frac{1}{(x-x_0)\sqrt{(2\pi)S_y}} e^{-1/2\left(\frac{\ln(x-x_0)-u_y}{S_y}\right)^2}$

Gamma 2 parámetros	$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)}$
Gamma 3 parámetros	$f(x) = \frac{(x-x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)}$
Log Pearson tipo III	$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x \beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)}$
Gumbel	$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$
Log Gumbel	$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha}$

Nota: Tabla tomada y Adaptada del *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje* por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones [MTC] (2008).

La probabilidad de una variable aleatoria continuas (X) se define como el área bajo la curva de la función. Las distribuciones principales se muestran a continuación:

Figura 5

Distribuciones de Probabilidades Usadas en Hidrología

Nombre	Acrónimo	Referencia
Normal	(N)	(Gauss)
Log-normal	(LN)	(Hazen, 1914)
Pearson de tipo 3	(P3)	(Foster, 1924)
Valores extremos tipo 1	(EV1)	(Gumbel, 1941)
Valores extremos tipo 2	(EV2)	(Gumbel, 1941)
Valores extremos tipo 3	(EV3)	(Jenkinson, 1969)
Distribución gamma de tres parámetros		(Kritsky, Menkel, 1946)
Gamma	(G)	(Moran, 1957)
Log-Pearson tipo 3	(LP3)	(U.S. Water Resources Council, 1967, 1981)
Valores extremos generalizados	(GEV)	(Jenkinson, 1955)
Weibull		(Wu et Goodbridge, 1976)
Wakeby	(WAK)	(Houghton, 1978)
Boughton		(Boughton, 1980)
Valores extremos con dos componentes	(TCEV)	(Rossi, y col., 1984)
Logística logarítmica	(LLG)	(Ahmad, y col., 1988)
Logística generalizada	(GLG)	(Ahmad, 1988)

Nota: Tabla tomada de *Guía de Prácticas Hidrológicas* por IDEAM, (1994).

a) Pruebas de Bondad de Ajuste

Según Villón (2002), Se utiliza para el análisis gráfico y estadístico si las frecuencias de una serie de datos se ajustan a una determinada

función, teniendo en cuenta los parámetros estimados. Cuyo objetivo es evaluar la confiabilidad de la hipótesis estadística en una población específica, analizando el comportamiento de una variable aleatoria en relación con una función de probabilidades establecida. Las pruebas comúnmente utilizadas son las pruebas de Chi-Cuadrado y Smirnov-Kolmogorov, siendo esta última la más ampliamente empleada.

b) Prueba Kolmogorov – Smirnov

Según el MTC (2008), este enfoque implica evaluar la idoneidad de las distribuciones al comparar la diferencia entre probabilidad empírica y probabilidad teórica de datos muestrales. Se elige el valor máximo de las discrepancias y se compara con el valor absoluto más grande de la diferencia, denominado D, la relación entre la función de distribución de probabilidad observada $F_o(x_m)$ y la función de distribución estimada $F(x_m)$:

$$D = \text{máx}/F_o(x_m) - F(x_m)/$$

2.2.8. CURVAS IDF

Las curvas IDF son fundamentales para estimar caudales de diseño, ya que resume las diferencias de los eventos adversos de precipitación en una zona específica. Estas curvas precisan la intensidad promedio de lluvia para distintas duraciones y periodos de retorno (Bermeo et al., 2018).

Tabla 5

Lineamientos de Curvas IDF

Nivel de Complejidad del Sistema	Obtención Mínima de Curvas IDF
Bajo y medio	Sintética
Medio alto	Información regional pluviográfica
Alto	Información local pluviográfica

Nota: Tomada de *Estimación de los Caudales Máximos y Caracterización Morfométrica de la Subcuenca del Cauce en el Sector Hidro dependiente del Municipio de San Francisco – Cundinamarca* por Bermeo et al. (2018).

Cabe señalar que la intensidad de las precipitaciones se refiere a la velocidad con la que cae el agua en un período de tiempo determinado, en otras palabras, la cantidad de agua por unidad de tiempo (mm/hr).

$$i = \frac{P}{t_d}$$

Donde:

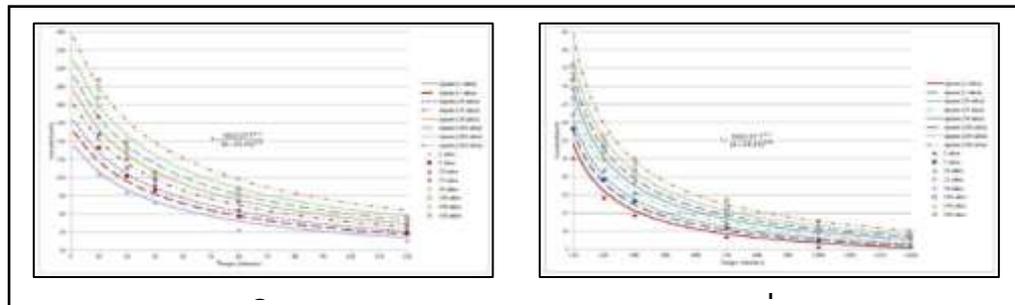
P: es la profundidad de lluvia cuya unidad de medida es en mm o pulg.

Td: es la duración, que mayormente es en horas.

Sin embargo, cuando se dispone de un solo pluviómetro en una estación, se limita el intervalo de tiempo para conocer la intensidad media de la lluvia a un período de 24 horas. Esto puede dar lugar a grandes errores por defecto, ya que las lluvias de corta duración suelen ser las más intensas en general.

Figura 6

Ejemplos de Curvas IDF



Nota: a) Curvas IDF de menos de 2 horas de duración. b) Curvas IDF que duran más de 2 horas. La imagen está tomada de la curva intensidad – duración - frecuencia (IDF) de la estación meteorológica CIM-FICH. Serie 1986-2016 por Maria del Valle et al., (2019).

a) Tormenta de Diseño

De acuerdo con Aranda (2009), una tormenta de diseño es un evento de lluvia, ya sea histórico o simulado, utilizado para dimensionar sistemas de drenaje. La distribución espacial y temporal de las precipitaciones es esencial para definir estas tormentas de diseño.

El análisis de las tormentas permite obtener características específicas que se expresan y acumulan en tablas o curvas. Esta información resulta valiosa y muy útil para el diseño de vertederos u otras estructuras relacionadas (IDEAM, 1994).

Las tormentas de diseño toman a las curvas IDF como punto de partida; es decir a la fuente de información hidrográfica que esta representa (Maria del Valle et al., 2019). El análisis de la variación temporal de las lluvias se puede realizar mediante las características de los eventos de tormentas, que se describen a través de las siguientes componentes:

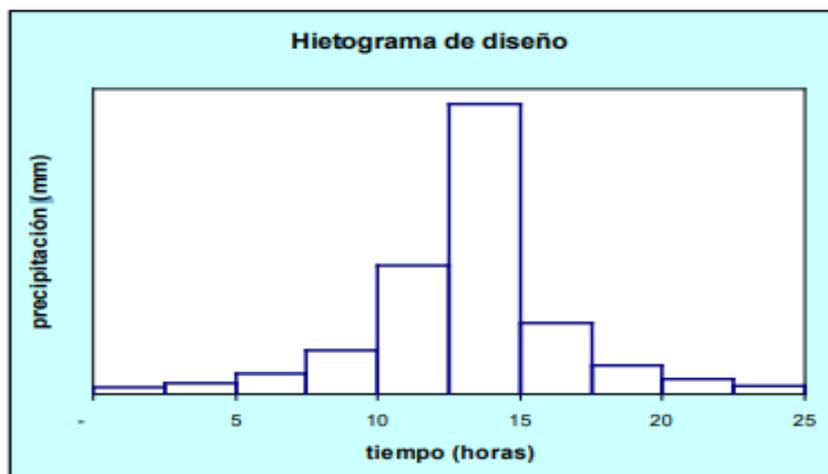
- I. Frecuencia o periodo de retorno,
- II. Volumen de lluvia o magnitud
- III. Duración de la lluvia
- IV. Intensidad definida para cada intervalo.

2.2.9. HIETOGRAMA DE DISEÑO

Una manera más simple de representar las tormentas de diseño son los hietogramas, que son gráficos que muestran la precipitación en intervalos de tiempo. Los hietogramas son característicos y representativos de una tormenta específica. Utilizando los datos obtenidos de las curvas IDF, los hietogramas representan la intensidad de la lluvia a lo largo de su duración. Estos hietogramas son utilizados en software para observar la evolución de la lluvia a lo largo de su duración865.

Figura 7

Ejemplo de Hietograma de Diseño



Nota: Tomada de *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje* por MTC (2008).

Los hietogramas son una herramienta importante que nos permite analizar y comprender la intensidad de la lluvia en relación con las variables que la caracterizan. Son técnicas de derivación que nos brindan una representación visual y cuantitativa de cómo varía la intensidad de la lluvia a lo largo del tiempo. Estos hietogramas nos ayudan a examinar y explicar las características específicas de la lluvia, como su duración, patrón de intensidad y cambios temporales. Mediante el uso de hietogramas, podemos obtener una visión más completa y detallada de cómo se comporta la lluvia y cómo afecta a diversos procesos hidrológicos y sistemas de drenaje.

2.2.10. MODELOS HIDROLÓGICOS

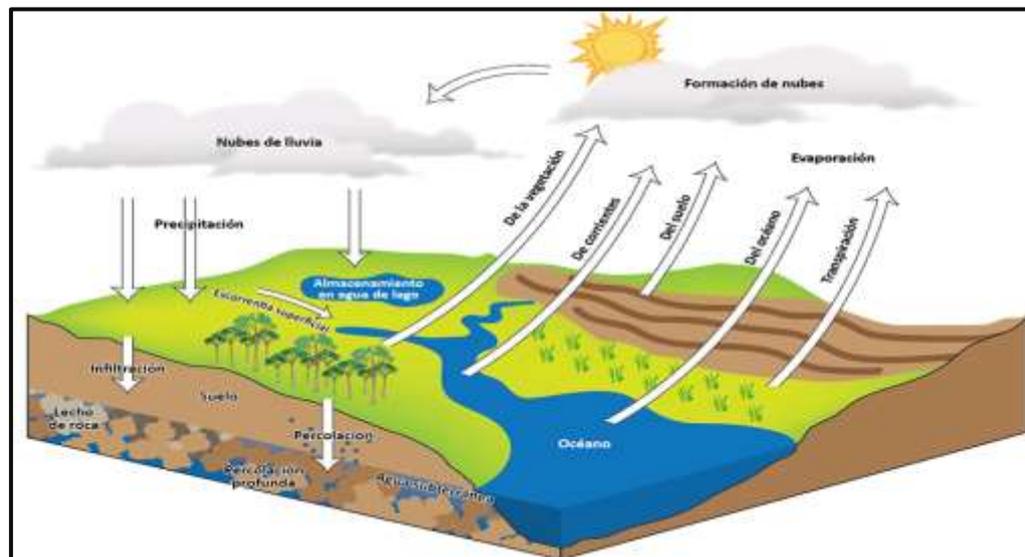
Constituye una simplificación de un sistema real prototipo o complejo, de manera física o matemática, donde se representa mediante una expresión analítica. El objetivo de un modelo hidrológico es representar, en un plano físico o virtual, la cuenca hidrográfica y sus componentes en el ciclo hidrológico. Estos modelos brindan al usuario la capacidad de tomar decisiones basadas en representaciones matemáticas sobre cuestiones hidrológicas. En esencia, los modelos hidrológicos permiten una comprensión más clara y predictiva de los

procesos hidrológicos y facilitan la toma de decisiones informadas en relación con los recursos hídricos (IDEAM, 2022). Cabrera et al. (2019) habla de una clasificación de los modelos hidrológicos basado en el análisis de tres características básicas como:

- De acuerdo a su conceptualización, son empíricos, conceptuales o estocásticos.
- De acuerdo a su naturaleza, pueden ser determinísticos o estocásticos.
- De acuerdo a su representación espacial, agrupados o distribuidos.

Figura 8

Modelación Hidrológica



Nota: Imagen tomada de *Modelación Hidrológica* por Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad [LANCIS] (2022).

a) Clasificación de Modelos Hidrológicos Según su Enfoque de Representación

Cabrera (2019), menciona que los modelos hidrológicos según su enfoque son los siguientes:

i. Modelo Determinístico Agregado

Los modelos determinísticos suelen presentar tres tipos de elementos; dentro de este modelo suele hablarse de variables de salidas, que usualmente son las descargas:

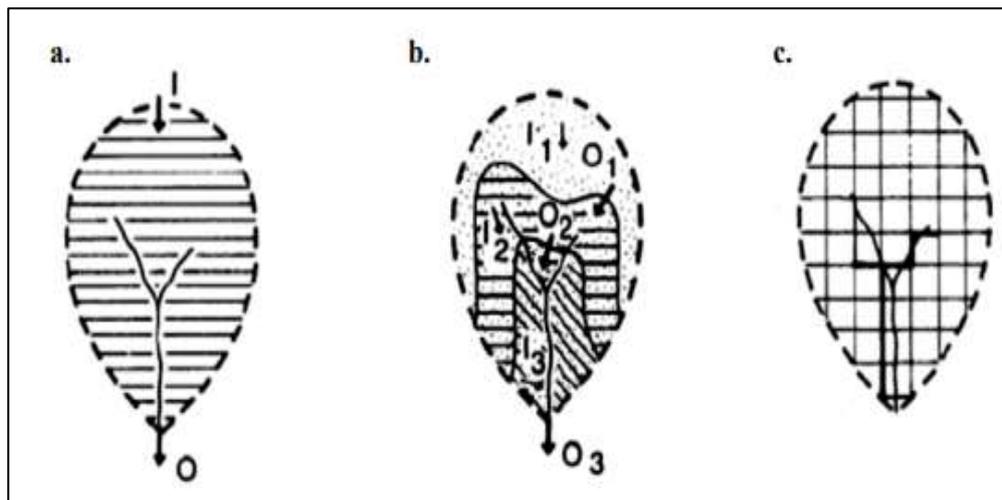
- Variables de entrada; son conjuntos de datos espacio-temporales que representan variables como precipitación, temperatura, entre otros.
- Parámetros; parámetros considerados constantes en el modelo son aquellos que se mantienen invariables, como la conductividad hidráulica, la velocidad de infiltración, entre otros.
- Variables de estado; son conjuntos de datos espacio-temporales que representan características como la humedad del suelo, entre otros. Estas variables de estado son fundamentales para establecer las condiciones iniciales en el modelo.

ii. . Modelo determinístico semidistribuido

Cuando las cuencas adquieren un tamaño considerable, sus características ya no pueden considerarse uniformes en toda su extensión. Por lo tanto, se identifican y analizan zonas con comportamientos hidrológicos similares para luego combinar sus efectos. Con el fin de superar las dificultades asociadas a los modelos completamente distribuidos, se han desarrollado los modelos semidistribuidos, que se sitúan en un punto intermedio entre los modelos agregados y los modelos distribuidos. Estos modelos semidistribuidos presentan una base física más sólida que los modelos agregados y requieren una cantidad menor de datos de entrada en comparación con los modelos distribuidos. Ejemplos de modelos semidistribuidos incluyen el HBV y el SAC-SMA.

Figura 9

Modelos Hidrológicos Según su Distribución Espacial



Nota: Tomado de Evaluación del Modelo HEC-HMS Para la Simulación Hidrológica de una Cuenca de Páramo por Cabrera (2019).

iii. Modelo determinístico distribuido

Los modelos dispersivos consideran la variación espacial de todos los parámetros y variables en cada punto de la cuenca. Si un modelo tiene este tipo de estructura, es directamente compatible con los datos generados por PR y GIS (percepción remota (PR), en los formatos de celda Sistema de Información Geográfica (SIG). En una extensión vertical, a cada celda se le puede asignar una profundidad o discretizarla en múltiples celdas superpuestas (por ejemplo, columnas).

2.2.11. DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL PARA SIMULACIÓN DE RÍOS

La Dinámica de Fluidos Computacional o Computational Fluid Dynamics (CFD) por sus siglas en inglés; es una técnica informática que busca la simulación del movimiento de los fluidos. Se caracteriza por emplear los algoritmos basados en métodos numéricos para resolver las ecuaciones que gobiernan el flujo de fluidos permiten una comprensión cualitativa y cuantitativa del comportamiento de los fluidos (Ramirez Ruiz, 2020). Esta técnica se ha convertido en una herramienta útil para analizar sistemas de interés práctico, se incluyen dentro de estos análisis

fenómenos físicos y químicos involucrados con el movimiento de fluidos. Este tipo de análisis suele caracterizarse por su adaptación tecnológica, su menor costo en cuanto al análisis hidrológico, reducción de tiempo y su confiabilidad en cuanto a sus resultados.

A pesar de los múltiples beneficios que esta herramienta representa, su uso es principalmente complementario, ya que es necesario en cierta medida comprobar o verificar las predicciones con datos experimentales, ya que no siempre es posible medir los parámetros físicos y químicos del sistema.

Vicente & Salinas (2018), mencionan que para simular el flujo, básicamente se tienen tres alternativas:

- Simulación Numérica Directa (Direct Numerical Simulation, DNS);
- Simulación de Grandes Escalas (Large Eddy Simulation, LES);
- Ecuaciones Promediadas o Modelos de Turbulencia (Reynolds Average Navier-Stokes Equations, RANS).

Las ecuaciones que rigen el flujo de fluidos se derivan de la mecánica de fluidos y pueden resolverse utilizando una variedad de métodos numéricos. A continuación se menciona la siguiente ecuación:

a) Ecuaciones gobernantes

Utilizando estas ecuaciones, el movimiento de un bloque de mezcla de líquido y gas (vapor y otros posibles gases) se trata como un flujo monofásico de densidad variable. El conjunto de ecuaciones para flujos mixtos es el mismo que para flujos multicomponentes, en la medida en que se forman ecuaciones de transporte para determinar la fracción másica de vapor producida durante la cavitación.

Para modelar los efectos de los gases no condensables, también se puede resolver una ecuación de transporte adicional para la fracción de masa del gas dependiendo del modelo de gas. A continuación, se muestran las ecuaciones para los flujos de cavitación:

i. Ecuación de la continuidad 1d y 2d

Se representa con la siguiente expresión:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = S_m$$

Donde:

S_m = es el origen neto externo o del usuario independiente de la cavitación.

ii. Ecuación de momento

Se representa con la siguiente expresión:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = S_m$$

Donde:

S_m = es el origen neto externo o del usuario independiente de la cavitación.

iii. Ecuación de Navier Stokes

Es un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales no lineales que describen el movimiento de un fluido viscoso. Llevan el nombre del ingeniero y físico francés Claude-Louis Navier y del físico y matemático angloirlandés George Gabriel Stokes. Estas ecuaciones expresan de forma matemática la conservación del momento.

Expresión:

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = \rho F_i - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} [2\mu (e_{ij} - \Delta \delta_{ij}/3)].$$

La ley de conservación de la masa se escribe:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i}{\partial x_i} = 0$$

En estas ecuaciones, ρ es la densidad, u_i ($i = 1,2,3$) es la componente cartesiana de la velocidad, F_i es el campo de aceleración producido por una fuerza sobre un objeto como la gravedad, P es la presión del fluido, y μ es el fluido que representa la presión de viscosidad dinámica.

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

Donde:

$\Delta = e_{ii}$ es la divergencia del fluido y δ_{ij} es el delta de Kronecker. D/Dt es la derivada total o derivada material en el tiempo después del líquido:

$$\frac{D}{Dt}(\cdot) \equiv \frac{\partial(\cdot)}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla)(\cdot)$$

La no linealidad de la ecuación se debe precisamente a los términos relacionados con la derivada total. Si μ es uniforme en todo el fluido, las ecuaciones del fluido se simplifican a:

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = \rho F_i - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \mu \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{1}{3} \frac{\partial^2 u_j}{\partial x_i \partial x_j} \right)$$

O, en forma vectorial:

$$\rho \frac{D\mathbf{u}}{Dt} = \rho \mathbf{k} - \nabla P + \mu \left(\frac{1}{3} \nabla(\nabla \cdot \mathbf{u}) + \nabla^2 \mathbf{u} \right)$$

iv. Ecuación de Saint Vennat o aguas pocas profundas

La forma unidireccional de la ecuación de aguas poco profundas también se llama ecuación de Saint-Venant, en honor a Adhémar Jean Claude Barré de Saint-Venant. Las ecuaciones de aguas poco profundas son un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales hiperbólicas (o parabólicas, si se considera el corte viscoso) que describen el flujo de un fluido debajo de su superficie de presión (pero no necesariamente su superficie libre). Básicamente las ecuaciones se derivan de la integración en profundidad de las ecuaciones de Navier-Stokes:

v. Ecuaciones en Forma Conservadora:

$$\begin{aligned}\frac{\partial(\rho\eta)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho\eta u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho\eta v)}{\partial y} &= 0, \\ \frac{\partial(\rho\eta u)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho\eta u^2 + \frac{1}{2}\rho g\eta^2 \right) + \frac{\partial(\rho\eta uv)}{\partial y} &= 0, \\ \frac{\partial(\rho\eta v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho\eta uv)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho\eta v^2 + \frac{1}{2}\rho g\eta^2 \right) &= 0.\end{aligned}$$

Donde:

η : es la altura total de la columna de fluido (profundidad instantánea del fluido en función de x , y y t), y el vector 2D (u,v) es la velocidad de flujo horizontal del fluido, promediada a lo largo de la columna vertical. Además, g es la aceleración debida a la gravedad y ρ es la densidad del fluido. La primera ecuación se deriva de la conservación de masas, las segundas dos de la conservación del momento

vi. Ecuaciones en Forma No Conservadora:

$$\begin{aligned}\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left((H+h)u \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left((H+h)v \right) &= 0, \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv &= -g \frac{\partial h}{\partial x} - bu + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right), \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu &= -g \frac{\partial h}{\partial y} - bv + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right),\end{aligned}$$

Dónde:

u : es la velocidad en la dirección x , o velocidad zonal

v : es la velocidad en la dirección y , o velocidad meridional

h : es la desviación de la altura de la superficie de presión horizontal desde su altura media H : $\eta = H + h$

H : es la altura media de la superficie de presión horizontal

g : es la aceleración debida a la gravedad

f : es el coeficiente de Coriolis asociado con la fuerza de Coriolis. En la Tierra, f es igual a $2 \Omega \sin(\varphi)$, donde Ω es la tasa de rotación angular de la Tierra ($\pi / 12$ radianes / hora) y φ es la latitud

B : es el coeficiente de arrastre viscoso

ν : es la viscosidad cinemática

b) Métodos de discretización

Hay varias formas de convertir una ecuación diferencial parcial en un sistema de ecuaciones algebraicas. Los más comunes son el método de diferencias finitas, el método de elementos finitos y el método espectral. En la práctica, las derivadas temporales se discretizan casi exclusivamente utilizando métodos de diferencias finitas. Las derivadas espaciales se discretizan utilizando métodos de diferencias finitas, elementos finitos o espectrales.

i. Elementos finitos

En este tipo de modelación se hace uso del dominio discretizado en volúmenes finitos. Los volúmenes finitos emplean directamente las ecuaciones de conservación en su forma integral. En el método de los elementos finitos, una función se puede aproximar mediante una suma finita de funciones $S(x)$.

$$f(x) \sim b_0 S_0 + b_1 S_1 + b_2 S_2 + b_3 S_3 + b_4 S_4$$

ii. Volúmenes finitos

Este método fue introducido por Turner en el año 1956 se empleó en sus inicios para realizar un análisis estructural, Los métodos de volúmenes finitos permiten la discretización y la solución numérica de ecuaciones diferenciales. Este método tiene una base matemática muy rígida, por lo general en problemas elípticos y parabólicos. Es un método alternativo.

iii. Diferencias finitas

El método de diferencias finitas puede ser; progresiva, regresiva o centrada. Considerando la ecuación de difusión en 1D.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad 0 \leq x \leq 1$$

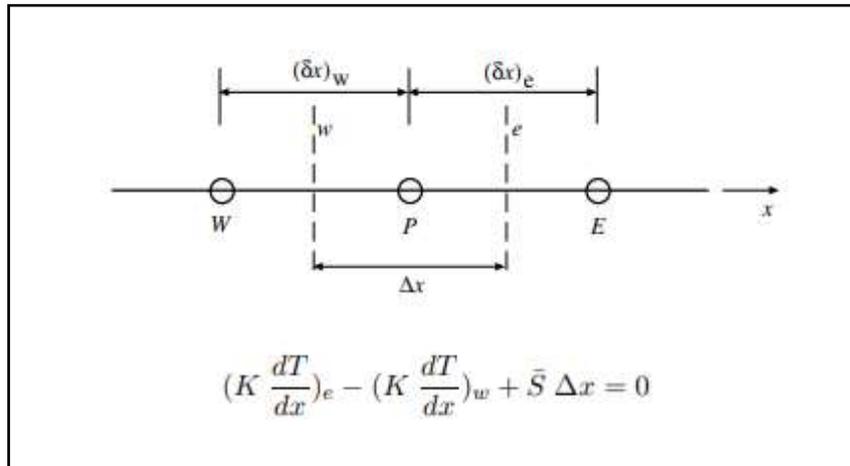
$$\begin{aligned} \text{Condiciones de borde: } T(0,t) &= b, \quad T(1,t) = d \\ \text{Condiciones iniciales: } T(x,0) &= T_0(x), \quad 0 \leq x \leq 1 \end{aligned}$$

iv. Optimización del mallado

Los métodos de volúmenes finitos y elementos finitos pueden combinarse en algunas ocasiones en mallas estructuradas. En cuanto a la optimización del mallado, se muestra a continuación la malla de discretización por el método de volúmenes finitos:

Figura 10

Optimización del Mallado



Las técnicas de optimización son técnicas tradicionales que tienen como objetivo minimizar una función (función objetivo) que está sujeta a restricciones. Es fundamental definir una función objetivo.

- El método de aproximación del subproblema
- El método de primer orden

v. Configuración y tolerancias del modelo Hec – Ras

El software HEC-RAS (Hydrological Engineering Center – River Analysis System) según la US Army Corps of Engineers (2021), es un programa de modelización hidráulica unidimensional que permite realizar cálculos de flujo constante unidimensional y bidimensional, cálculo de transporte de sedimentos, lecho móvil y modelado de temperatura, calidad de agua. Se encuentra compuesto por 4 tipos de análisis en ríos:

- Modelización de flujo en régimen permanente
- Modelización de flujo en régimen no permanente
- Modelización del transporte de sedimentos
- Análisis de calidad de aguas

Nos permite simular el flujo de vías fluviales naturales o artificiales para determinar los niveles de agua. Por lo tanto, el objetivo principal es realizar estudios e identificar zonas inundables.

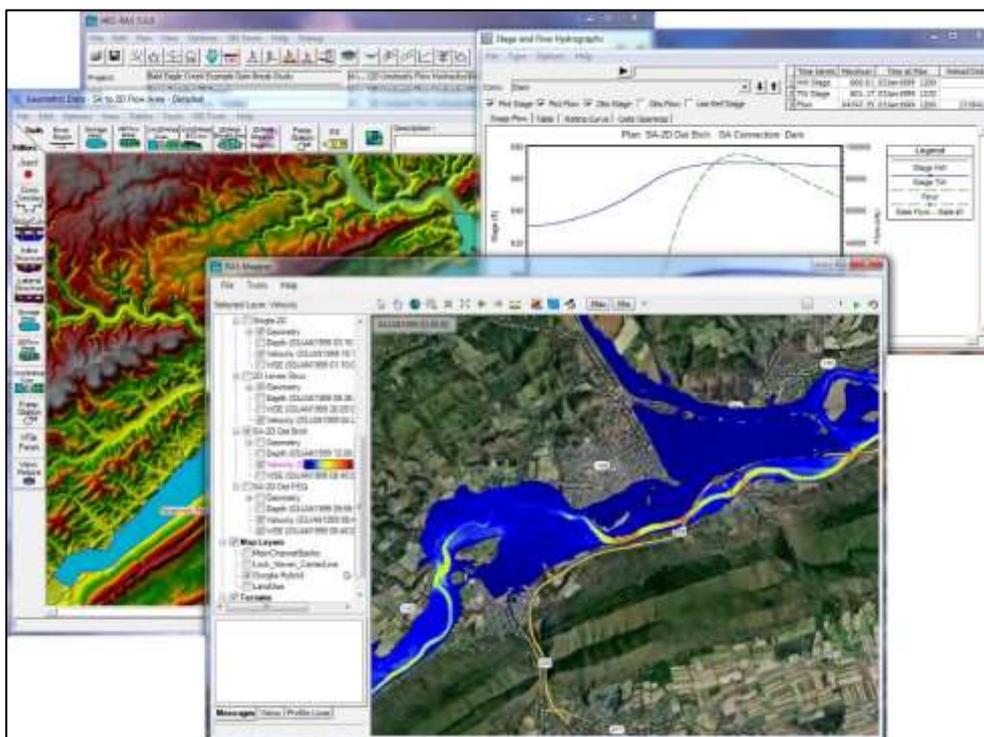
Configuración:

El programa previo a su ejecución requiere de una serie de configuraciones:

- Configuración de la Interfaz RAS Mapper
- Configurar la geometría del modelo 2D y combinación de geometría 1D/2D.
- Ingreso de datos para la modelización en condiciones de flujo no permanente.
- Ejecución del modelo 2D.
- Visualización de los Resultados.

Figura 11

Configuración del software HEC-RAS



Limitaciones - Tolerancias:

Las limitaciones de la modelización en HEC – RAS 2D, señaladas por Lluén Chero, (2015), se mencionan a continuación:

- Ofrece poca flexibilidad para añadir estructuras hidráulicas dentro de un área 2D
- No se puede ejecutar simulación de transportes de sedimentos producto de la erosión o deposición dentro de un área 2D.
- No se puede ejecutar simulación de calidad de agua dentro de un área 2D.
- No se puede conectar centrales de bombeo dentro de un área 2D.
- No se puede utilizar las capacidades de modelización de puentes de HEC-RAS dentro de un área 2D.
- Se pueden modelar alcantarillas, vertederos, y rupturas, pero usando la herramienta SA/2D Area Conn.

2.2.12. NIVELES DE SEVERIDAD DE INUNDACIÓN

Las inundaciones pueden clasificarse por su duración y su origen, de ahí podemos definir los niveles de severidad ya sea bajo, alto, muy alto o medio.

Tabla 6

Tipos de Inundaciones

Según su Duración	Según su Origen
Inundaciones dinámicas o rápidas:	Inundaciones Pluviales Inundaciones Fluviales
Inundaciones estáticas o lentas:	Inundaciones por operaciones incorrectas de obras de infraestructura hidráulica o rotura

Nota: Adaptado de *Manual de Estimación del Riesgo Ante Inundaciones Fluviales* por Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI] (2011).

Conesa & García (2011) clasifica a los niveles de peligrosidad de las inundaciones fluviales en:

- **Nivel Muy Alto:** cauces y lechos de inundación ocupados por vegetación, cauces elevados y fuertes pendientes.
- **Nivel Alto:** cauces y lechos ocupados por vegetación u objetos parecidos con cierta rigidez.

- **Nivel Medio:** cauces y lechos de inundación ocupados por vegetación parcial. Pendiente media y baja, próxima fuente de sedimentos, lechos con textura variable y sedimentos finos secos.
- **Nivel Bajo:** cauces y lechos activos de inundación de escasa pendiente con gran estabilidad. Cauces resistentes a la erosión mecánica.

A continuación, se presenta el nivel de intensidad o severidad mediante el gráfico elaborado por INDECI:

Figura 12

Niveles de Severidad/Intensidad Respecto a la Profundidad y Velocidad del Flujo

Niveles de intensidad	Profundidad del flujo (H) (m) (inundaciones estáticas)	Profundidad x velocidad. del flujo (m ² /s) (inundaciones dinámicas)
Muy alta	$H > 1.5 \text{ m}$	$H*V > 1.5 \text{ m}$
Alta	$0.5 \text{ m} < H < 1.5 \text{ m}$	$0.5 \text{ m} < H*V < 1.5 \text{ m}$
Media	$0.25 \text{ m} < H < 0.5 \text{ m}$	$0.25 \text{ m} < H*V < 0.5 \text{ m}$
Baja	$< 0.25 \text{ m}$	$H*V < 0.25 \text{ m}$

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

➤ **Desbordamiento Fluvial**

Llamada también inundación fluvial, ocurre cuando el nivel de las aguas del río, lago, arroyo, se eleva y desborda hacia las orillas, afectando así a las áreas vecinas. Se encuentra determinado por la duración e intensidad de la lluvia en la cuenca del río (Zurich, 2019).

➤ **Hietograma**

Los hietogramas son gráficos que reflejan La distribución de la precipitación que ocurre durante las cinco horas más húmedas que pueden ocurrir en un lugar durante un período de 100 años.

➤ **Curva IDF**

Se definen como curvas IDF, curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia por sus siglas; a la curva resultante de la unión de los puntos más resaltantes de la intensidad media en intervalos de diferentes periodos correspondientes a una misma frecuencia o periodo de retorno (Aranda, 2009).

➤ **Cuenca**

Una cuenca es básicamente una depresión por así decirlo, en la superficie de la tierra, en el cual discurren las aguas hacia un mismo punto (Aguirre Núñez, 2011).

➤ **Discretización**

Es el proceso mediante el cual se analiza funciones continuas, modelos, variables y ecuaciones a contrapartes discretas, esto explicado desde un enfoque matemático. Es el análisis de ciertos valores de una curva separados por un intervalo constante o discreto, realizando dicho proceso de forma más sencilla (Toledo, 2019).

➤ **Modelos Hidrológicos**

Representación de una forma simplificada de un sistema real o complejo en forma física o matemática, llamada prototipo, se representa mediante una expresión analítica. Estos modelos poseen una complejidad sutil, pero a su vez una disponibilidad amplia de datos. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2022).

➤ **Elongación**

Elongación o factor de forma, se encuentra relacionada, como su mismo nombre lo indica, con la forma de la cuenca. Se determina como la relación entre el diámetro de un círculo con la misma área que la cuenca y la longitud del canal principal que drena la cuenca. (Campo et al., 2011).

➤ **Gradiente**

Es una función de valor vectorial a diferencia de una derivada, sus componentes expresadas en coordenadas forman parte de los coeficientes de las variables presentes en la ecuación del espacio tangente. La gradiente se conoce también como pendiente de superficie condiciona la velocidad del escurrimiento (Guerra & Gonzáles, 2002).

➤ **Precipitación**

La precipitación es una etapa del ciclo del agua que consiste en la caída o condensación de agua desde la atmósfera a la superficie terrestre. Se produce con la elevación de una masa de agua en la atmósfera hasta el punto de enfriarse y parte de su humedad se condense (Chow et al., 1994).

➤ **Pluviometría**

Es el estudio y tratamiento de los datos de la precipitación, forma parte de la meteorología que estudia la distribución geográfica y temporal de las lluvias (The Free Dictionary, 2022).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

El desarrollo de un modelo hidrodinámico bidimensional influye en la predicción de las inundaciones fluviales en la Ciudad de Tumbes, 2023.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

La representación del sistema hidrodinámico se realizará mediante un proceso de calibración, para la predicción inundaciones fluviales.

La representación hidrológica para la predicción de avenidas máximas, se puede desarrollar con un modelo hidrológico determinístico.

La simulación hidrodinámica se simulará de manera efectiva con el modelo Hec-ras.

Los niveles de severidad se podrán obtener en función a los parámetros de salida de la simulación hidrodinámica (Velocidad y tirantes)

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Modelo hidrodinámico bidimensional

Son modelos que han sido desarrollados de forma más detallada para simular los patrones distribuidos de la profundidad del agua de la inundación y la velocidad media de la profundidad, para investigar las características hidráulicas de las llanuras de inundación naturales (Dayamanti et.al., 2011)

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Inundación fluvial

Esto ocurre durante las llamadas inundaciones, cuando la cantidad de agua aumenta repentinamente más allá de lo que los lechos de los ríos y canales pueden transportar sin desbordarse. (INDECI, 2011)

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 7

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Medición		
					Escala	Especificaciones	
Modelo hidrodinámico bidimensional (Variable independiente)	<p>Autor: (Damayanti) Hydrodynamic modelling for flood hazard assessment Son modelos que han sido desarrollados de forma más detallada para simular los patrones distribuidos de la profundidad del agua de la inundación y la velocidad media de la profundidad, para investigar las características hidráulicas de las llanuras de inundación naturales.</p> <p>http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1743/doc1743-contenido.pdf</p>	El modelo hidrodinámico representa el movimiento del flujo de agua de un río, la cual necesita diferentes datos de entrada para su representación y calibración.	Avenidas máximas	Hydrograma de inundación	m ³ /s	-	
				Batimetría	Modelo de Digital de elevación	m ³ /s	-
				Cobertura vegetal	Rugosidad de Manning	m ³ /s	-
				Condiciones de flujo	Flujo permanente	m ³ /s	-
Inundación fluvial (Variable dependiente)	<p>Autor: (INDECI) Manual de estimación del riesgo ante inundaciones fluviales Es atribuida al aumento brusco del volumen de agua más allá de lo que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse, durante lo que se denomina crecida.</p> <p>https://library.itc.utwente.nl/papers_2011/msc/aes/damayanti.pdf</p>	Las inundaciones fluviales, se evalúan su impacto mediante niveles de severidad . La cual se basan en parámetros de salida de un modelo hidrodinámico.	Niveles de severidad	Velocidades	m/s	-	
Tirantes	m	-					

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se empleó teorías científicas que fundamentan las variables en estudio, siendo la metodología empleada fue aplicada, Según Hernández Sampieri (2014) el tipo de investigación aplicada soluciona los problemas prácticos en la sociedad.

3.1.1. ENFOQUE

El enfoque de la investigación empleado fue cuantitativo porque estuvo fundamentado en el método deductivo al utilizar el proceso lógico, sistemático y numérico Así mismo, se utilizó pruebas matemáticas para según comprobar la hipótesis planteada en el estudio. (Ñaupas et al., 2018)

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

El alcance de la investigación fue explicativo, porque el estudio permitió explicar las propiedades de las variables. (Supo, 2012).

3.1.3. DISEÑO

Se consideró un diseño de tipo no experimental, debido que no existe una manipulación directa con las variables, por lo que será mediante herramientas de modelación, la cual representará un fenómeno tal como suceda de manera natura, sin variaciones. (Hernández Sampieri et al., 2014)

Figura 13

Esquema de diseño de investigación

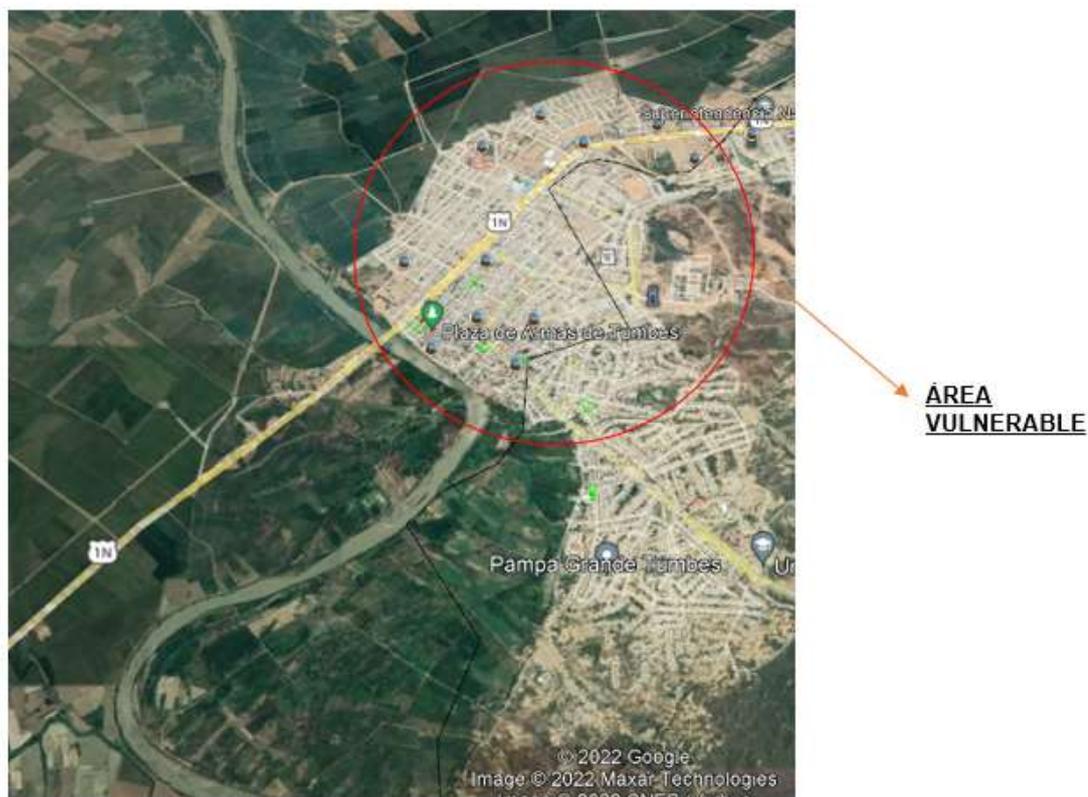


3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población del estudio son el conjunto de viviendas damnificadas por inundaciones en la región de Tumbes. Y la muestra, fueron el conjunto de viviendas afectadas de la ciudad de tumbes, debido por el desbordamiento del flujo de agua.

Figura 14

Área de estudio: Ciudad de Tumbes



Nota: Tomada de Google Earth.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Según Chávez (2008), la habilidad de análisis se refiere a la capacidad para recopilar y organizar datos relacionados con un hecho o fenómeno general que guarda relación con el tema de investigación.

La exploración o técnica es documental y trata de la extracción de información en diversas fuentes bibliográficas con la finalidad de fundamentar y sustentar cada metodología o proceso que se desarrollara en la investigación.

Para la información meteorológica, se usó la data grillada pisco, la cual fue desarrollada por nuestra institución nacional SENAMHI. La cual se extraerá de su plataforma, donde cuelgan sus productos elaborados.

La topografía del área de estudio fue proporcionada por el Tesista, con fines investigativos y consta de un alrededor de 5 kilómetros.

Los caudales, se extrajo de la plataforma o boletines que la institución SENAMHI o PEBPT (Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes), debido que ellos desarrollan mediciones a nivel diario del río a estudiar.

Los instrumentos utilizados en esta investigación serán fichas de recolección de datos, en donde se colocará la información descargada.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para poder procesar nuestros datos, se usará herramientas computacionales, las cuales se menciona a continuación.

Modelación hidrológica, para procesar la información hidrometeorológica e incorporar características geomorfológicas de la cuenca delimitada, con la finalidad de representar escorrentías históricas.

Modelación hidrodinámica, para procesar la información topográfica e hidrológica, con la finalidad de representar flujos históricos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

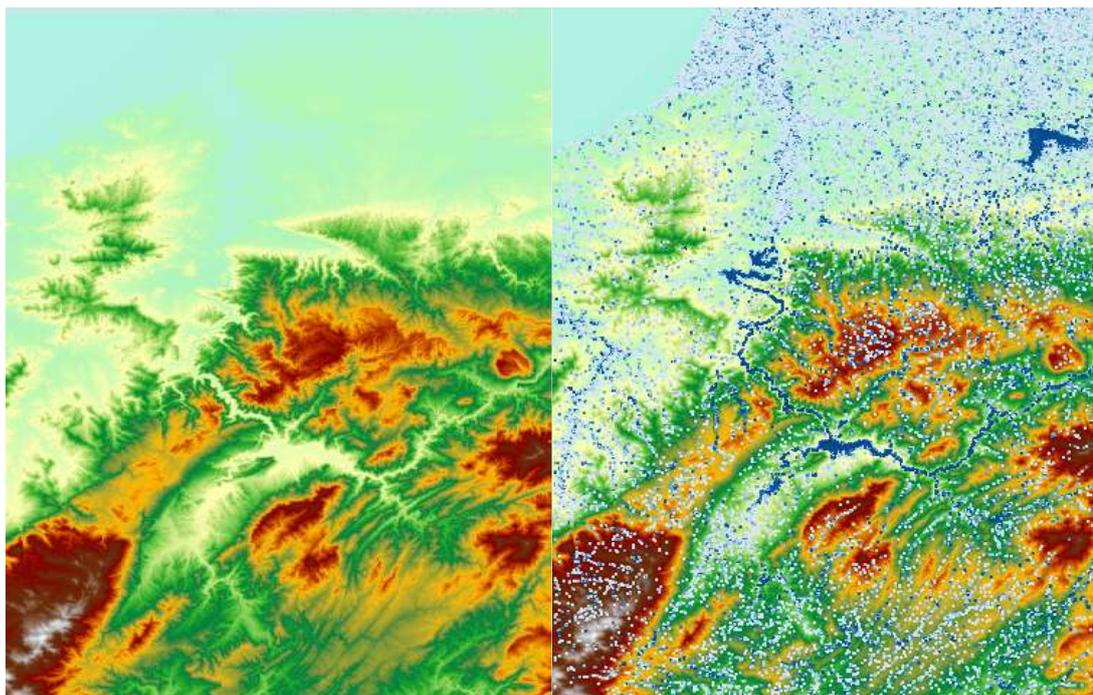
4.1. REPRESENTACIÓN HIDROLÓGICA PARA LA PREDICCIÓN DE AVENIDAS MÁXIMAS

Para la representación hidrológica, se debe considerar un modelo digital de elevación (DEM), para poder realizar la delimitación de la cuenca de estudio

(Figura 15a). Donde se procesó corrigiendo el modelo digital de elevación con la herramienta sink, la cual mejora ciertas áreas que representan correctamente los diversos cauces (Figura 15b).

Figura 15

Modelo digital de elevación



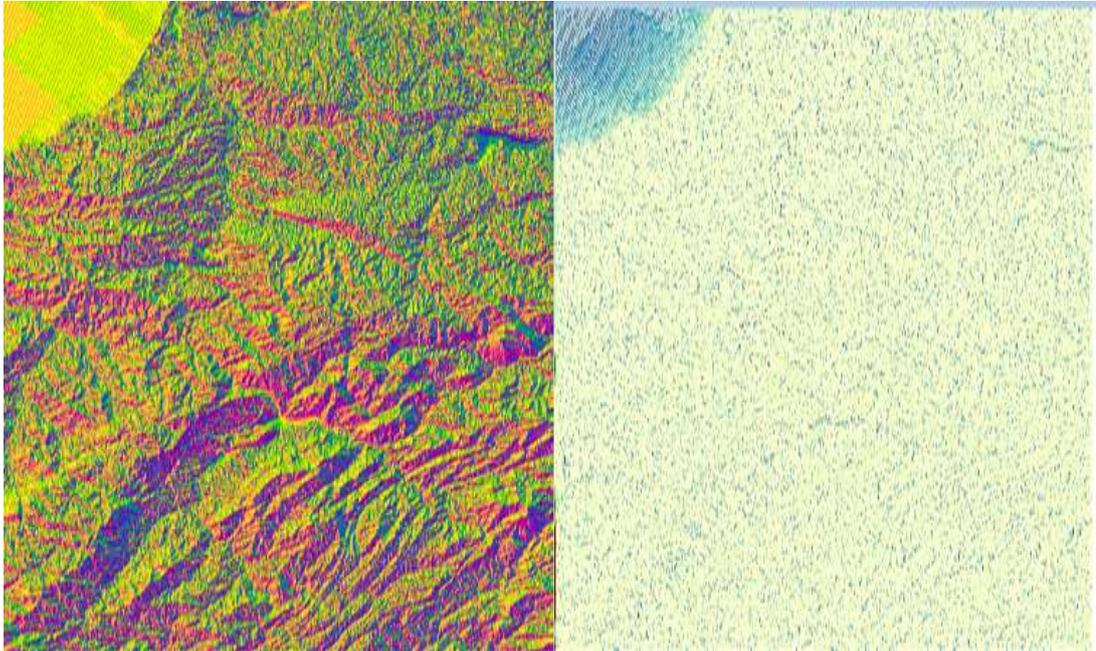
Nota: Procesada por el Tesista en Hec-Hms.

Teniendo el modelo digital de elevación que se ha corregido, se dispone a procesar con las otras herramientas, como del flujo direccional (Figura 16a), que representa la dirección de los diversos cauces del área de estudio; mientras el flujo acumulado (Figura 16b), que llega a representar el área

acumulado de cada cuerpo de agua, que se encuentra involucrado en los flujos direccionales que se han podido detectar.

Figura 16

Flujo direccional y acumulado

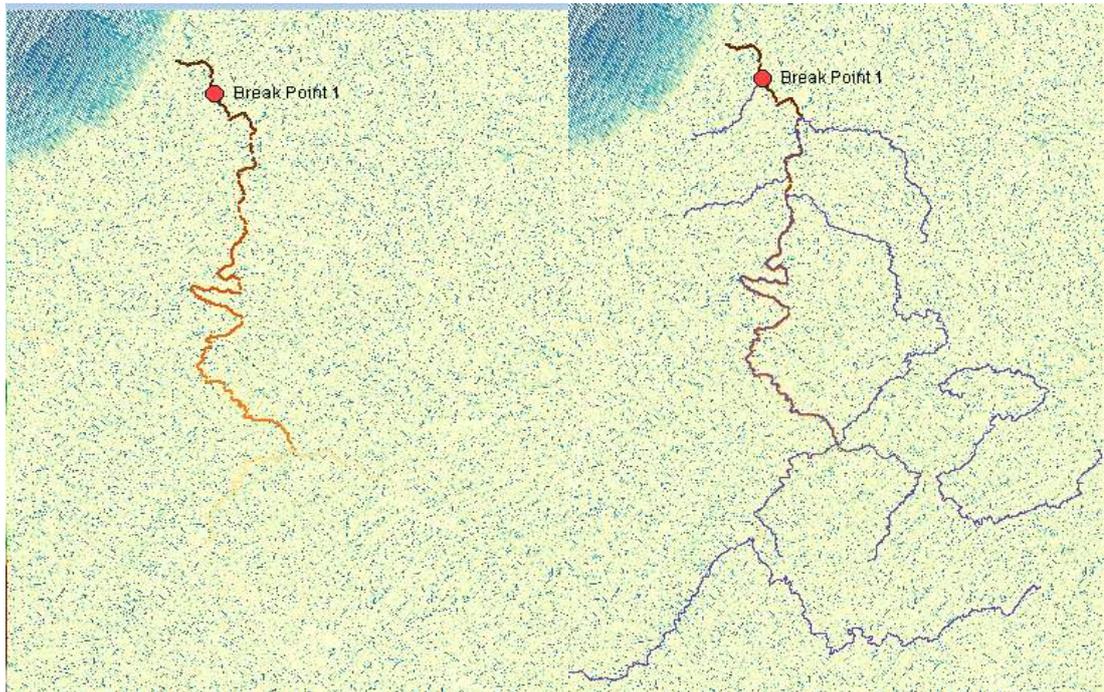


Nota: Procesada por el Tesista en Hec-Hms.

Y con ello podremos calcular la red de drenaje, en base al flujo de direccional y acumulado. Donde el punto rojo, se interpreta como el punto de aforo que representa a una estación hidrométrica cercana.

Figura 17

Red de drenaje



Nota: Procesada por el Tesista en Hec-Hms.

Se obtuvo en la delimitación, 11 subcuencas que representan las áreas aportantes para el río principal de estudio. Llegándose a representar con diversas simbologías, considerando que el punto de aforo es la estación hidrometría

Puente Tumbes, la cual nos ayudó a delimitar la cuenca.

Figura 18

Modelo hidrológico de la cuenca Tumbes

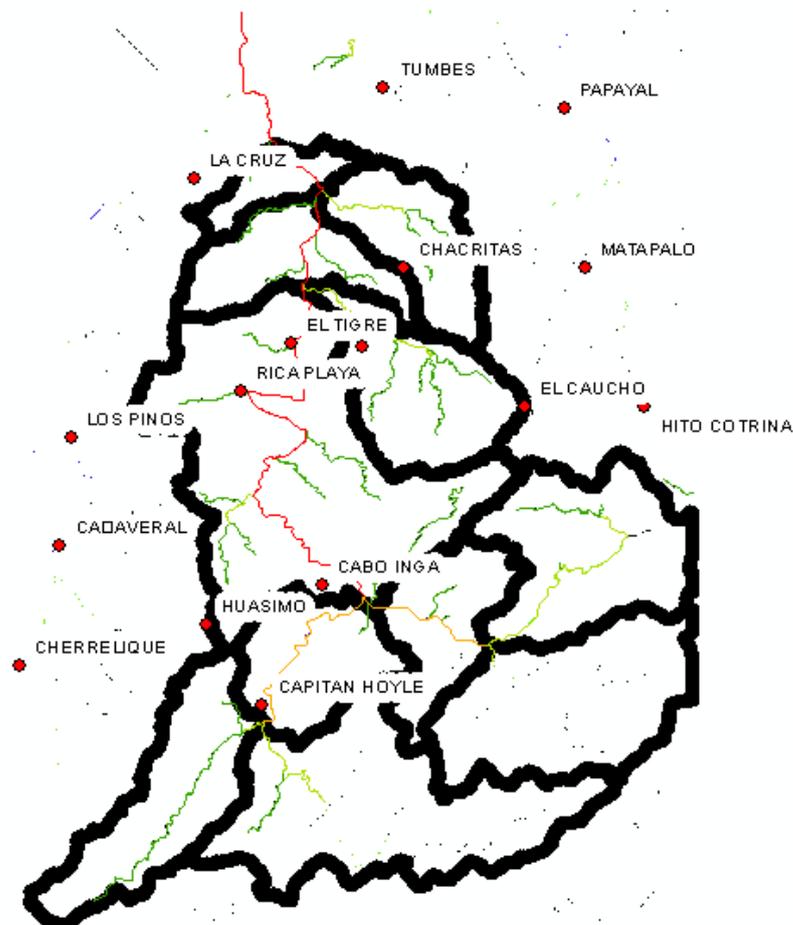


Nota: Procesada por el Tesista en Hec-Hms.

Posterior a la obtención de la delimitación de la cuenca y sus subcuencas que representas a los cauces secundarios y tributarios, que aportan al río principal. Se llegó a mapear las estaciones que se encuentran involucrada al área de estudio, teniendo 16 estaciones meteorológicas que aportan lluvia a la cuenca (Figura 19) y poder con ello a obtener las lluvias máximas de 24 horas, donde dicha información se obtuvo por el producto grillado PISCO, la cual se trabajó con la versión estable que SENAMHI utiliza en sus servicios de otorgamiento de data a los usuarios.

Figura 19

Estaciones meteorológicas involucradas a la cuenca de estudio



Nota: Procesada por el Tesista en ArcGIS

En la Tabla 8, se muestra descrita las ubicaciones de las estaciones meteorológicas que se han optado usar para implementar al modelo y se pueda obtener los flujos superficiales que van a pasar por cada subcuenca delimitada.

Tabla 8

Estaciones meteorológicas

#N	Estación	Latitud	Longitud
1	CABO INGA	-80.43	-3.97
2	CAPITÁN HOYLE	-80.48	-4.07
3	RICA PLAYA	-80.50	-3.81
4	EL TIGRE	-80.46	-3.77
5	CHACRITAS	-80.37	-3.70

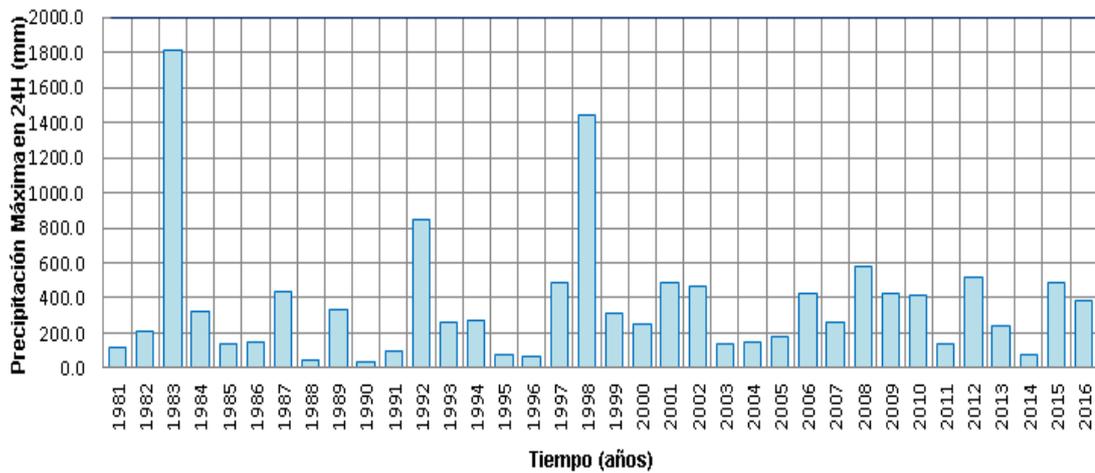
6	QUEBRADA ANGOSTURA	-80.40	-3.77
7	HUASIMO	-80.53	-4.00
8	LOS PINOS	-80.64	-3.84
9	CAÑAVERAL	-80.65	-3.93
10	CHERRE LIQUE	-80.68	-4.33
11	LA CRUZ	-80.54	-3.63
12	PAPAYAL	-80.23	-3.57
13	EL CAUCHO	-80.27	-3.87
14	HITO COTRINA	-80.17	-3.82
15	MATAPALO	-80.27	-3.70
16	TUMBES	-80.38	-3.55

Nota: Procesada en Excel

Se procede a realizar el proceso de análisis de frecuencia para cada estación de estudio, donde se detallará en el caso de la Estacion Cabo Inga. La información máxima anual se muestra en el histograma a continuación.

Figura 20

Histograma anual de la Estacion Cabo Inga



Nota: Procesada en Excel

Tabla 9

Valores de precipitación mensual máxima durante 24 horas (mm) de la estación Cabo Inga. Distrito San Jacinto, Provincia y departamento de Tumbes

ESTACIÓN CABO INGA: 80° 24"W", 6° 54"S", 231 m.s.n.m.													
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	MÁXIMO
1981	0.3	105.2	119.4	51.6	0.8	1.4	0.1	0.0	0.4	0.6	0.1	1.3	119.4
1982	0.5	2.7	0.2	23.5	0.6	0.2	0.0	0.0	0.3	1.3	5.9	205.2	205.2
1983	986.1	666.0	764.4	1818.2	861.5	277.5	10.2	0.0	6.7	3.5	0.8	2.8	1818.2
1984	0.6	320.0	126.9	5.1	1.6	3.1	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	5.2	320.0
1985	7.9	20.7	137.2	2.7	1.2	1.2	0.0	0.0	0.1	1.6	0.0	3.4	137.2
1986	92.5	43.6	0.2	147.2	1.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.4	4.2	5.1	147.2
1987	202.4	359.7	436.2	112.4	2.8	0.5	1.5	0.2	2.7	0.2	0.2	1.7	436.2
1988	39.4	26.6	9.9	16.6	1.2	0.4	0.2	0.0	0.5	0.3	2.3	5.9	39.4
1989	112.0	330.8	118.2	52.2	0.9	3.3	0.0	0.1	0.2	1.6	0.3	0.2	330.8
1990	9.5	29.2	25.9	10.3	1.7	1.1	0.1	0.0	0.2	1.9	2.8	2.2	29.2
1991	1.4	94.9	46.9	5.7	18.0	0.7	0.1	0.0	0.1	1.5	0.9	8.1	94.9
1992	66.4	339.1	849.7	444.0	190.6	2.7	0.4	0.0	0.8	1.3	3.8	6.2	849.7
1993	11.2	261.7	212.8	116.4	57.6	2.1	0.8	0.1	0.5	7.7	0.1	4.1	261.7
1994	129.0	274.6	100.6	38.1	2.8	0.2	0.1	0.0	0.2	0.8	0.2	24.8	274.6
1995	30.0	77.5	51.4	7.3	21.9	0.2	0.8	0.1	0.2	1.1	6.8	13.3	77.5
1996	34.6	67.8	61.6	10.0	0.5	0.3	0.0	0.0	0.1	0.4	0.1	5.7	67.8
1997	14.2	52.0	177.0	128.7	59.9	16.5	1.4	0.6	20.8	5.8	119.1	488.0	488.0
1998	662.3	1438.6	550.3	715.5	155.2	14.6	1.5	0.0	1.3	3.8	0.1	3.7	1438.6
1999	9.9	206.4	200.3	315.7	61.6	1.7	0.1	0.0	1.6	0.8	0.1	5.2	315.7
2000	5.9	179.5	246.7	179.4	72.8	6.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	7.5	246.7
2001	85.2	68.7	489.3	147.1	7.5	0.3	0.0	0.0	0.2	0.1	5.4	10.2	489.3
2002	6.5	334.7	468.7	414.6	4.5	0.8	0.0	0.2	0.3	1.3	0.1	18.2	468.7
2003	84.5	140.3	39.5	25.6	2.9	3.7	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	15.3	140.3
2004	22.9	147.9	101.0	38.7	5.9	0.1	0.2	0.0	0.4	4.2	0.1	0.4	147.9
2005	1.8	17.4	181.4	13.2	0.1	0.8	0.0	0.0	0.0	0.2	3.1	14.5	181.4
2006	81.4	427.3	229.7	7.1	0.4	0.7	0.5	0.1	0.1	0.2	5.2	6.5	427.3
2007	126.2	9.1	257.5	82.2	0.5	0.3	0.0	0.1	0.1	0.3	0.4	6.5	257.5
2008	179.9	583.2	305.5	85.3	19.7	1.6	0.9	0.0	0.2	2.4	1.2	0.4	583.2

2009	423.1	309.1	253.5	25.7	3.5	0.5	0.0	0.1	0.3	0.2	1.8	9.8	423.1
2010	113.8	297.5	417.7	232.1	6.2	1.3	0.5	0.0	0.2	0.3	0.5	4.9	417.7
2011	25.5	66.2	5.7	138.7	1.4	1.1	4.9	0.0	0.2	1.1	2.1	13.7	138.7
2012	154.6	520.8	477.1	350.7	54.6	2.5	0.2	0.0	0.1	0.9	3.0	4.9	520.8
2013	42.3	64.6	238.4	31.4	14.4	0.2	0.0	0.1	0.1	4.3	0.0	2.9	238.4
2014	52.3	76.9	15.1	8.2	49.9	15.0	0.2	0.1	0.3	6.3	0.0	15.6	76.9
2015	25.0	115.8	489.4	212.6	92.6	4.5	0.9	0.0	0.1	8.2	3.1	13.3	489.4
2016	71.3	381.9	322.8	198.9	0.5	12.6	0.3	0.1	0.2	0.7	0.0	9.1	381.9
Promedio	108.7	234.9	236.9	172.6	49.4	10.5	0.7	0.1	1.1	1.8	4.8	26.3	363.3
Desv. Est.	197.8	269.8	215.3	322.5	146.0	46.0	1.9	0.1	3.6	2.2	19.7	85.9	363.4
Máximo	986.1	1438.6	849.7	1818.2	861.5	277.5	10.2	0.6	20.8	8.2	119.1	488.0	1818.2
Mínimo	0.3	2.7	0.1	2.7	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	29.2

Nota: Procesada en Excel

Tabla 10

Precipitación máxima 24 horas

Nº	AÑO	ORDEN	P24	log(P24)			
1	1981	30	119.4	2.07			
2	1982	23	205.3	2.31			
3	1983	1	1818.2	3.25	Máximo valor histórico registrado		
4	1984	16	320.0	2.50			
5	1985	29	137.2	2.13			
6	1986	26	147.2	2.16			
7	1987	10	436.2	2.63			
8	1988	35	39.4	1.59			
9	1989	15	330.8	2.51			
10	1990	36	29.2	1.46	Mínimo valor histórico registrado		
11	1991	31	94.9	1.97			
12	1992	3	849.7	2.92			
13	1993	19	261.7	2.41			
14	1994	18	274.6	2.43			
15	1995	32	77.5	1.88			
16	1996	34	67.7	1.83			
17	1997	8	488.0	2.68			
18	1998	2	1438.6	3.15			
19	1999	17	315.7	2.48			
20	2000	21	246.7	2.39			
21	2001	7	489.3	2.68			
22	2002	9	468.7	2.67			
23	2003	27	140.3	2.14			
24	2004	25	147.9	2.17			
25	2005	24	181.4	2.25			
26	2006	11	427.3	2.63			
27	2007	20	257.5	2.42			
28	2008	4	583.2	2.76			
29	2009	12	423.1	2.62	Numero de datos n	36	36
30	2010	13	417.7	2.62	Suma Σ	13080.60	86.28
31	2011	28	138.7	2.14	Máximo	1818.20	3.25
32	2012	5	520.8	2.71	Mínimo	29.20	1.46
33	2013	22	238.4	2.37	Promedio \bar{x}	363.30	2.39
34	2014	33	76.9	1.88	Desviación estándar s	363.42	0.39
35	2015	6	489.4	2.68	Coefficiente asimetría Cs	2.65	-0.23
36	2016	14	381.9	2.58	Cs/6 k	0.44	-0.04

Nota: Procesada en Excel

Cualquier conjunto de datos puede contener valores fuera de rango, lo que puede provocar errores en cálculos futuros. Estos datos anormales se denominan valores atípicos y existen varias formas de corregirlos. En nuestro caso se usará el Método Water Resources Council. Y el cálculo se muestra en la tabla.

Tabla 11

Depuración de outliers

PRUEBA DE DATOS DUDOSOS (Método Water Resources Council)

$$n = 36$$

$$K_n = 2.639^*$$

Kn: valor recomendado, varía según el valor de n (significancia:10%)

Umbral de datos dudosos altos
(xH: unid. logarítmicas)

$$X_H = 3.44$$

$$x_H = \bar{x} + K_n \cdot s$$

Precipitación máxima
aceptada

$$PH = 10^{x_H} \quad PH = 2723.90 \text{ mm}$$

Umbral de datos dudosos bajos (x L: unid. logarítmicas)

$$X_L = 1.36$$

Precipitación mínima aceptada

$$PL = 10^{x_L} \quad PL = 22.80 \text{ mm}$$

Nota: Procesada en Excel

La Tabla 12 muestra el coeficiente Kn, que depende de la cantidad de datos que se evalúan. El coeficiente Kn se puede encontrar en la Tabla 11. Además, la aplicación de las distribuciones se detalla en la tabla 13 y sus gráficos posteriores a ella.

Tabla 12

Valores Kn, para la prueba de datos dudosos

Valores K_n para la prueba de datos dudosos

Tamaño de muestra n							
n	K_n	n	K_n	n	K_n	n	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Nota: Procesada en Excel

Tabla 13

Uso de las distribuciones de probabilidad

N	T	P(X ≤ xT)	VALOR OBSERVADO		NORMAL		GUMBEL		LOGNORMAL		PEARSON III		LOGPEARSON III	
			P24	log(P24)	K _T	ESPE RAD O								
1	37.00	2.700%	1818.2	3.2596	1.9264	1063.4	2.3547	1219.1	1.9264	1428.3	2.6828	1338.3	1.8174	1294.0
2	18.50	5.41%	1438.6	3.1579	1.6068	947.3	1.8034	1018.7	1.6068	1069.2	1.8784	1046.0	1.5417	1007.9
3	12.33	8.11%	849.7	2.9293	1.3978	871.4	1.4761	899.8	1.3978	884.8	1.4275	882.1	1.3574	852.9
4	9.25	10.81%	583.2	2.7658	1.2367	812.8	1.2403	814.1	1.2367	764.6	1.1173	769.4	1.2130	748.3
5	7.40	13.51%	520.8	2.7167	1.1024	764.0	1.0546	746.6	1.1024	677.0	0.8828	684.2	1.0912	670.2
6	6.17	16.22%	489.4	2.6896	0.9856	721.5	0.9004	690.6	0.9856	609.0	0.6955	616.1	0.9842	608.2
7	5.29	18.92%	489.3	2.6896	0.8809	683.5	0.7678	642.4	0.8809	553.9	0.5404	559.7	0.8873	557.1
8	4.63	21.62%	488.0	2.6884	0.7850	648.6	0.6510	599.9	0.7850	507.8	0.4085	511.8	0.7980	513.8
9	4.11	24.32%	468.7	2.6709	0.6959	616.3	0.5461	561.8	0.6959	468.4	0.2943	470.3	0.7142	476.3
10	3.70	27.03%	436.2	2.6397	0.6120	585.8	0.4505	527.1	0.6120	434.1	0.1940	433.8	0.6348	443.2
11	3.36	29.73%	427.3	2.6307	0.5322	556.8	0.3622	495.0	0.5322	403.9	0.1047	401.4	0.5588	413.7
12	3.08	32.43%	423.1	2.6265	0.4556	528.9	0.2801	465.1	0.4556	376.8	0.0246	372.3	0.4855	387.1
13	2.85	35.14%	417.7	2.6208	0.3817	502.1	0.2028	437.1	0.3817	352.4	0.0478	346.0	0.4141	362.9
14	2.64	37.84%	381.9	2.5820	0.3097	475.9	0.1297	410.5	0.3097	330.1	0.1137	322.0	0.3444	340.7
15	2.47	40.54%	330.8	2.5196	0.2394	450.3	0.0600	385.2	0.2394	309.8	0.1740	300.1	0.2757	320.1
16	2.31	43.24%	320.0	2.5051	0.1702	425.2	0.0068	360.9	0.1702	290.9	0.2294	280.0	0.2079	301.0
17	2.18	45.95%	315.7	2.4992	0.1018	400.3	0.00712	337.5	0.1018	273.5	0.2806	261.4	0.1404	283.2

1	2.	48.	274.	2.438	0.0	375.7	-	314.8	0.0	257.1	-	244.2	0.0	266.4
8	06	65	6	7	339		0.1	337	339		0.3	278	731	
		%												
1	1.	51.	261.	2.417	-	351.0	-	292.7	-	241.8	-	228.3	0.0	250.6
9	95	35	7	8	339		0.1	945	339		0.3	717	055	
		%												
2	1.	54.	257.	2.410	-	326.4	-	271.0	-	227.4	-	213.5	0.0	235.6
0	85	05	5	9	018		0.1	540	018		0.4	124	625	
		%												
2	1.	56.	246.	2.392	-	301.5	-	249.8	-	213.7	-	199.7	0.1	221.4
1	76	76	7	1	702		0.1	125	702		0.4	503	314	
		%												
2	1.	59.	238.	2.377	-	276.4	-	228.7	-	200.7	-	186.9	0.2	207.7
2	68	46	4	4	394		0.2	704	394		0.4	855	015	
		%												
2	1.	62.	205.	2.312	-	250.8	-	207.9	-	188.3	-	175.0	0.2	194.7
3	61	16	2	2	097		0.3	278	097		0.5	183	732	
		%												
2	1.	64.	181.	2.258	-	224.6	-	187.1	-	176.5	-	163.9	0.3	182.1
4	54	86	4	5	817		0.3	851	817		0.5	489	469	
		%												
2	1.	67.	147.	2.170	-	197.8	-	166.2	-	165.0	-	153.6	0.4	170.0
5	48	57	9	0	556		0.4	426	556		0.5	772	231	
		%												
2	1.	70.	147.	2.168	-	169.9	-	145.1	-	154.0	-	144.0	0.5	158.2
6	42	27	2	0	322		0.5	006	322		0.6	035	024	
		%												
2	1.	72.	140.	2.147	-	140.9	-	123.6	-	143.2	-	135.2	0.5	146.7
7	37	97	3	1	120		0.6	596	120		0.6	277	856	
		%												
2	1.	75.	138.	2.142	-	110.4	-	101.7	-	132.7	-	127.1	0.6	135.4
8	32	68	7	2	959		0.6	200	959		0.6	500	736	
		%												
2	1.	78.	137.	2.137	-	78.1	-	79.0	-	122.4	-	119.8	0.7	124.4
9	28	38	2	4	850		0.7	824	850		0.7	703	677	
		%												
3	1.	81.	119.	2.077	-	43.2	-	55.3	-	112.3	-	113.1	0.8	113.4
0	23	08	4	0	809		0.8	476	809		0.6	885	697	
		%												
3	1.	83.	94.9	1.977	-	5.2	-	30.2	-	102.1	-	107.3	0.9	102.4
1	19	78		2	856		0.9	166	856		0.7	046	819	
		%												
3	1.	86.	77.5	1.889	-	-37.3	-	3.2	-	91.8	-	102.3	1.1	91.4
2	16	49		4	024		0.9	911	024		0.7	183	082	
		%												
3	1.	89.	76.9	1.886	-	-86.1	-	-26.8	-	81.3	-	98.3	1.2	80.0
3	12	19		1	367		1.0	735	367		0.7	294	546	
		%												
3	1.	91.	67.8	1.831	-	144.7	-	-61.2	-	70.3	-	95.4	1.4	68.1
4	09	89		1	978		1.1	683	978		0.7	374	325	
		%												
3	1.	94.	39.4	1.596	-	220.6	-	103.6	-	58.2	-	93.8	1.6	55.1
5	06	59		0	068		1.2	850	068		0.7	416	662	
		%												
3	1.	97.	29.2	1.465	-	336.7	-	164.0	-	43.5	-	93.6	2.0	39.6
6	03	30		2	264		1.4	511	264		0.7	423	308	
		%												

Nota: Procesada en Excel

Figura 21

Distribución Normal para la Estación Meteorológica Cabo Inga

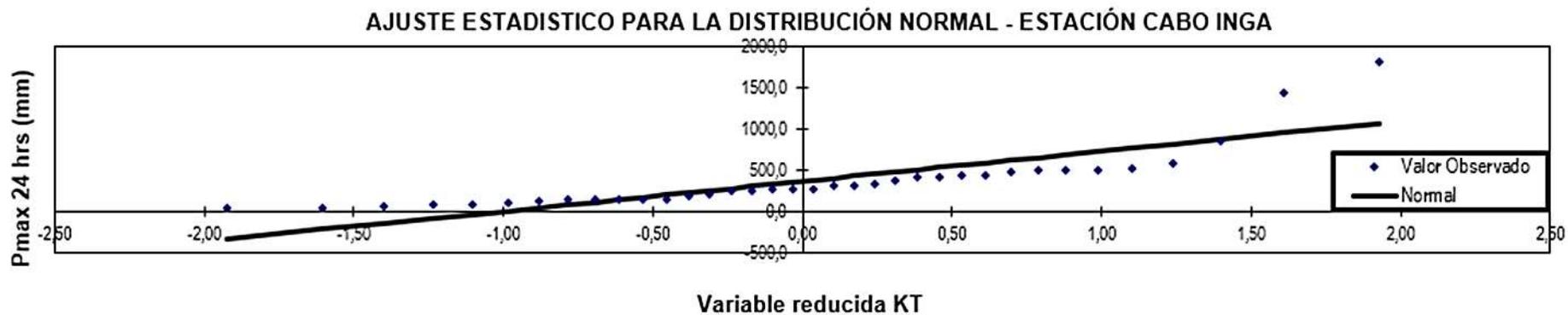


Figura 22

Distribución Gumbel para la Estación Meteorológica Cabo Inga

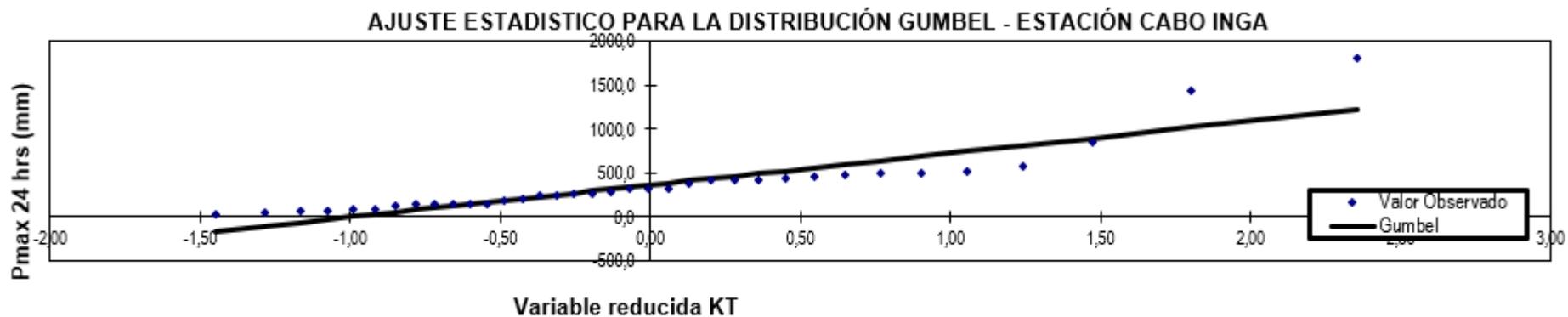


Figura 23

Distribución Log Normal para la Estación Meteorológica Cabo Inga

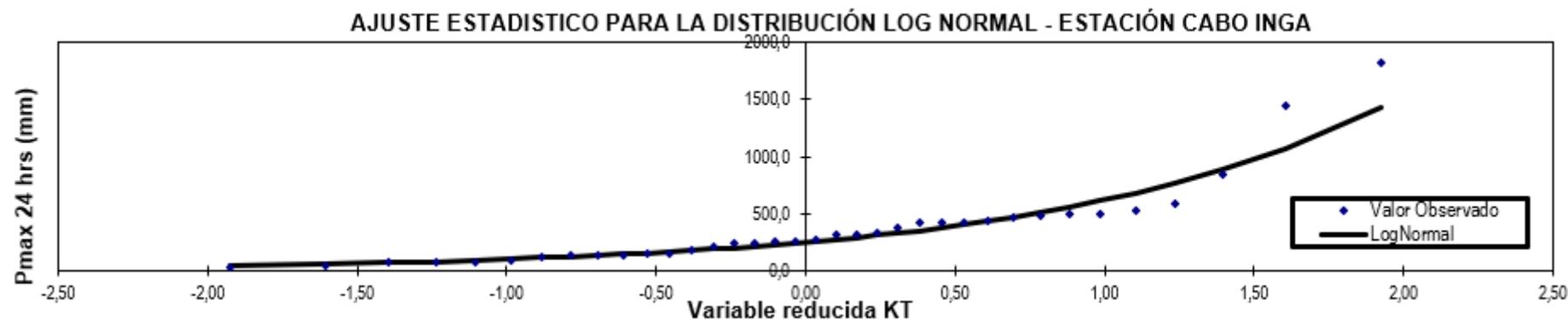


Figura 24

Distribución Pearson Tipo III para la Estación Meteorológica Cabo Inga

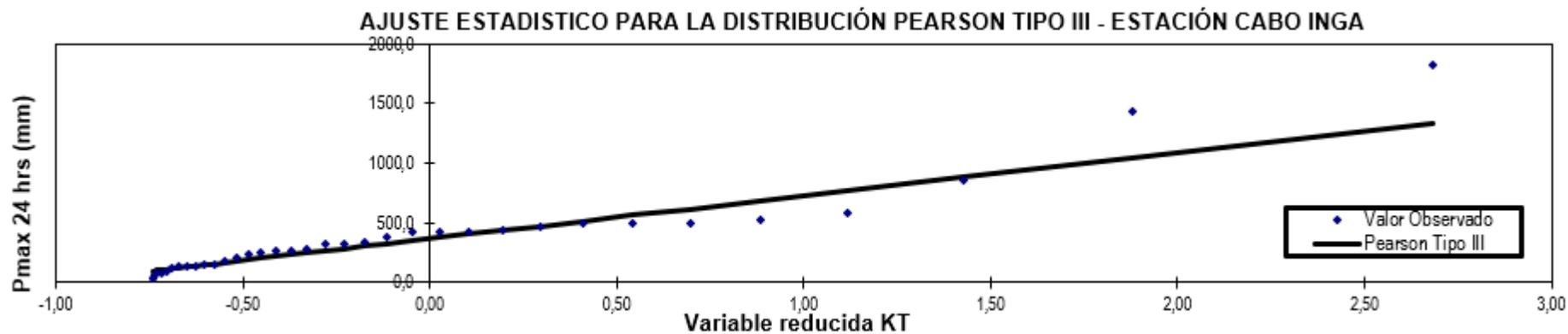
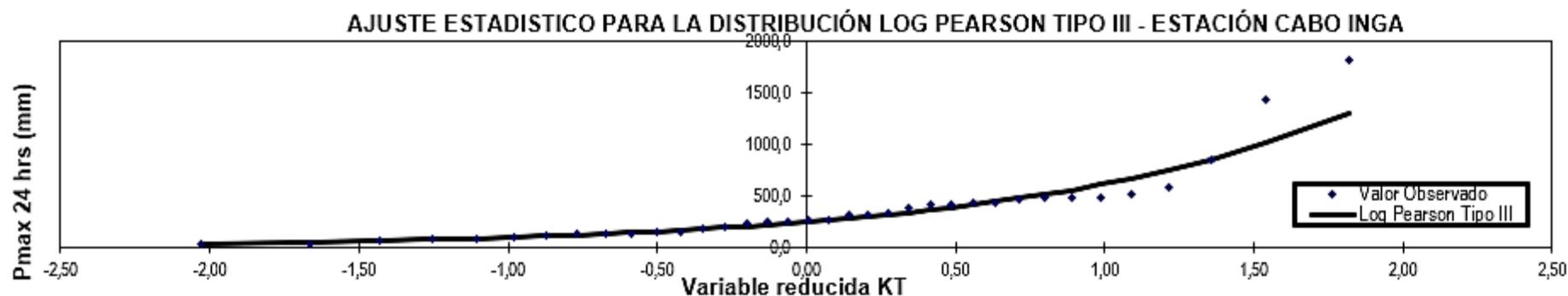


Figura 25

Distribución Log Pearson Tipo III para la Estación Meteorológica Cabo Inga



Nota: Procesada en Excel

En la tabla 14, se desarrolló la prueba de bondad de ajuste para establecer la distribución que mejor se adapta a los datos. El método de Kolmogorov fue elegido, debido a su amplio uso en estudios hidrológicos de caudales máximos. Los resultados indican que la distribución logarítmica normal fue la que mejor se ajusta, ya que presenta el menor valor de D-Máx en comparación con otras distribuciones.

Tabla 14

Prueba bondad de ajuste

m	x_m	$F_o(x_m)$	$F(x_m)$ Normal	$ F_o(x_m) - F(x_m) $ Normal	$F(y_m)$ Log - Normal	$ F_o(y_m) - F(y_m) $ Log - Normal	$F(y_m)$ Pearson III	$ F_o(y_m) - F(y_m) $ Pearson III	$F(y_m)$ Log Pearson III	$ F_o(y_m) - F(y_m) $ Log Pearson III	$F(x_m)$ GE VI	$ F_o(x_m) - F(x_m) $ GEVI
1	1818.17	0.972973	0.999968744	0.02700	0.985839	0.01287	0.960880	0.01209	0.952364	0.02061	0.9967	0.02372
2	1438.60	0.945946	0.998455296	0.05251	0.973465	0.02752	0.899881	0.04606	0.893339	0.05261	0.9875	0.04151
3	849.69	0.918919	0.909589639	0.00933	0.911999	0.00692	0.881261	0.03766	0.875929	0.04299	0.9040	0.01490
4	583.16	0.891892	0.72736032	0.16453	0.825803	0.06609	0.866510	0.02538	0.862203	0.02969	0.7722	0.11967
5	520.83	0.864865	0.667616843	0.19725	0.791876	0.07299	0.598142	0.26672	0.859197	0.00567	0.7246	0.14022
6	489.38	0.837838	0.635624718	0.20221	0.771619	0.06622	0.603209	0.23463	0.604496	0.23334	0.6978	0.14008
7	489.28	0.810811	0.635525472	0.17529	0.771553	0.03926	0.644172	0.16664	0.642360	0.16845	0.6977	0.11314
8	487.99	0.783784	0.634188014	0.14960	0.770669	0.01311	0.667921	0.11586	0.664702	0.11908	0.6965	0.08726
9	468.70	0.756757	0.614049156	0.14271	0.756954	0.00020	0.672872	0.08388	0.669347	0.08741	0.6790	0.07775
10	436.20	0.729730	0.579443984	0.15029	0.731458	0.00173	0.688118	0.04161	0.683959	0.04577	0.6478	0.08193
11	427.29	0.702703	0.569824099	0.13288	0.723886	0.02118	0.720893	0.01819	0.715887	0.01318	0.6389	0.06383
12	423.12	0.675676	0.565314092	0.11036	0.720257	0.04458	1.000000	0.32432	0.762753	0.08708	0.6346	0.04103
13	417.68	0.648649	0.559418601	0.08923	0.715433	0.06678	1.000000	0.35135	0.785794	0.13714	0.6291	0.01957
14	381.91	0.621622	0.520364186	0.10126	0.681003	0.05938	1.000000	0.37838	0.800730	0.17911	0.5910	0.03058
15	330.80	0.594595	0.464312509	0.13028	0.622449	0.02785	1.000000	0.40541	1.000000	0.40541	0.5327	0.06191
16	320.00	0.567568	0.452526343	0.11504	0.608456	0.04089	1.000000	0.43243	1.000000	0.43243	0.5198	0.04775
17	315.66	0.540541	0.447794752	0.09275	0.602649	0.06211	1.000000	0.45946	1.000000	0.45946	0.5146	0.02595
18	274.61	0.513514	0.403551982	0.10996	0.542398	0.02888	0.184932	0.32858	1.000000	0.48649	0.4640	0.04954
19	261.70	0.486486	0.389850189	0.09664	0.521251	0.03476	0.148236	0.33825	1.000000	0.51351	0.4476	0.03884
20	257.55	0.459459	0.385476101	0.07398	0.514219	0.05476	0.860292	0.40083	1.000000	0.54054	0.4424	0.01709
21	246.66	0.432432	0.374072679	0.05836	0.495204	0.06277	0.984323	0.55189	1.000000	0.56432	0.4285	0.00397
22	238.45	0.405405	0.365544191	0.03986	0.480305	0.07490	0.999849	0.59444	1.000000	0.59405	0.4179	0.01251
23	205.21	0.378378	0.331734666	0.04664	0.414859	0.03648	1.000000	0.62162	1.000000	0.62378	0.3749	0.00346
24	181.36	0.351351	0.308264606	0.04309	0.362616	0.01127	1.000000	0.64865	1.000000	0.64865	0.3440	0.00739

25	147.92	0.324	0.276660	0.04	0.282	0.04	1.000	0.67	1.000	0.67	0.3	0.02
		324	173	766	158	217	000	568	000	568	009	341
26	147.24	0.297	0.276037	0.02	0.280	0.01	1.000	0.70	1.000	0.70	0.3	0.00
		297	669	126	451	685	000	270	000	270	001	276
27	140.30	0.270	0.269693	0.00	0.262	0.00	1.000	0.72	1.000	0.72	0.2	0.02
		270	399	058	791	748	000	973	000	973	912	097
28	138.74	0.243	0.268273	0.02	0.258	0.01	1.000	0.75	1.000	0.75	0.2	0.04
		243	366	503	772	553	000	676	000	676	893	601
29	137.21	0.216	0.266889	0.05	0.254	0.03	1.000	0.78	1.000	0.78	0.2	0.07
		216	469	067	832	862	000	378	000	378	873	111
30	119.41	0.189	0.251038	0.06	0.208	0.01	1.000	0.81	1.000	0.81	0.2	0.07
		189	572	185	190	900	000	081	000	081	650	582
31	94.88	0.162	0.230039	0.06	0.143	0.01	1.000	0.83	1.000	0.83	0.2	0.07
		162	614	788	100	906	000	784	000	784	350	286
32	77.53	0.135	0.215792	0.08	0.098	0.03	1.000	0.86	1.000	0.86	0.2	0.07
		135	716	066	610	653	000	486	000	486	145	934
33	76.93	0.108	0.215312	0.10	0.097	0.01	1.000	0.89	1.000	0.89	0.2	0.10
		108	387	720	137	097	000	189	000	189	138	567
34	67.78	0.081	0.208021	0.12	0.075	0.00	1.000	0.91	1.000	0.91	0.2	0.12
		081	205	694	239	584	000	892	000	892	032	214
35	39.45	0.054	0.186394	0.13	0.020	0.03	1.000	0.94	1.000	0.94	0.1	0.11
		054	027	234	910	314	000	595	000	595	719	782
36	29.19	0.027	0.178922	0.15	0.008	0.01	1.000	0.97	1.000	0.97	0.1	0.13
		027	382	190	952	808	000	297	000	297	611	404
n	36		Dmáx	0.20		0.07		0.97		0.97		0.14
				221		490		297		297		022
				Si se		Si se		No		No		Si se
				ajust		ajust		se		se		ajust
				a		a		ajust		ajust		a
a	0.05		Dcritico >									
Dcri	0.22		Dmax									
tico	172		Mejor									
			Ajuste	3		1		5		4		2

Nota: Procesada en Excel

La tabla 15 muestra las precipitaciones para distintos períodos de retorno, calculadas mediante diferentes distribuciones probabilísticas. Es importante destacar que la distribución logarítmica normal presenta el mejor ajuste según la prueba de bondad realizada

Tabla 15

Precipitación máxima corregida

ESTACION CABO INGA			
Promedio	36		
: x =	3.3	y =	2.3
	49		97
Desviación			
n	36	sy	0.3
estándar	s = 3.4	=	93
:	21		
Cs/6 :	k = 0.4	-	
	42	k =	0.0
			39

T a ñ o	P(X ≤x _T)	DISTRIBUCI ON. NORMAL		DISTRIB. GUMBELL		DISTRIB. LOGNORMA L			DISTRIB. B. PEARSON ON III		DISTRIB. LOG PEARSON III			P _{M AX} m m	P _{MAX} (corr egid a) mm
		K _T	x _T	K _T	x _T	K _T	x _T	10 ^ x _T	K _T	x _T	K _T	x _T	10^ x _T		
3	0.6 67	0.430 7	519.9	0.2538	45 5. 6	0.4 3	2.5 663	36 8.4	-	0.0 36 3	0.4 61 5	2.5 78 4	378 .8	36 8. 4	416. 3
5	0.8 01	0.841 6	669.2	0.7195	62 4. 8	0.8 4	2.7 280	53 4.5	0.4 85 2	53 9.7	0.8 50 8	2.7 31 6	539 .0	53 4. 5	604. 0
1 0	0.9 00	1.281 6	829.1	1.3046	83 7. 5	1.2 8	2.9 011	79 6.3	1.2 00 5	79 9.7	1.2 53 4	2.8 90 0	776 .2	79 6. 3	899. 8
2 0	0.9 40	1.644 9	961.1	1.8658	10 41 .4	1.6 4	3.0 440	11 06. 7	1.9 66 8	10 78. 1	1.5 74 9	3.0 16 5	103 8.8	11 06 .7	1250 .6
2 5	0.9 60	1.750 7	999.6	2.0438	11 06 .1	1.7 5	3.0 857	12 18. 1	2.2 22 9	11 71. 2	1.6 66 8	3.0 52 6	112 8.9	12 18 .1	1376 .4
5 0	0.9 80	2.053 7	1109. 7	2.5923	13 05 .4	2.0 5	3.2 049	16 02. 9	3.0 44 2	14 69. 7	1.9 25 2	3.1 54 3	142 6.7	16 02 .9	1811 .3
1 0 0	0.9 90	2.326 3	1208. 8	3.1367	15 03 .3	2.3 3	3.3 122	20 52. 0	3.9 01 6	17 81. 3	2.1 52 0	3.2 43 6	175 2.2	20 52 .0	2318 .8
2 0 0	0.9 95	2.575 8	1299. 5	3.6791	17 00 .4	2.5 8	3.4 103	25 72. 4	4.7 91 8	21 04. 8	2.3 54 9	3.3 23 4	210 5.8	25 72 .4	2906 .8
3 0 0	0.9 97	2.713 1	1349. 3	3.9959	18 15 .5	2.7 1	3.4 643	29 13. 0	5.3 26 6	22 99. 1	2.4 64 6	3.3 66 6	232 5.8	29 13 .0	3291 .7
5 0 0	0.9 98	2.878 2	1409. 3	4.3947	19 60 .5	2.8 8	3.5 293	33 83. 0	6.0 14 5	25 49. 1	2.5 94 9	3.4 17 8	261 7.2	33 83 .0	3822 .8
1 0 0 0	0.9 99	3.090 2	1486. 4	4.9355	21 57 .0	3.0 9	3.6 127	40 99. 6	6.9 71 8	28 97. 0	2.7 59 4	3.4 82 6	303 7.9	40 99 .6	4632 .6

Nota: Procesada en Excel

Se utilizará el método de IILA - SENAMHI-UNI para calcular la precipitación de diseño en diferentes duraciones. Este método fue desarrollado mediante la colaboración entre una institución de investigación alemana, Senamhi y expertos profesionales de la Universidad Nacional de Ingeniería. Se basa en la determinación de coeficientes regionales específicos para el área de estudio. A continuación, se presenta una visualización del método.

Tabla 16

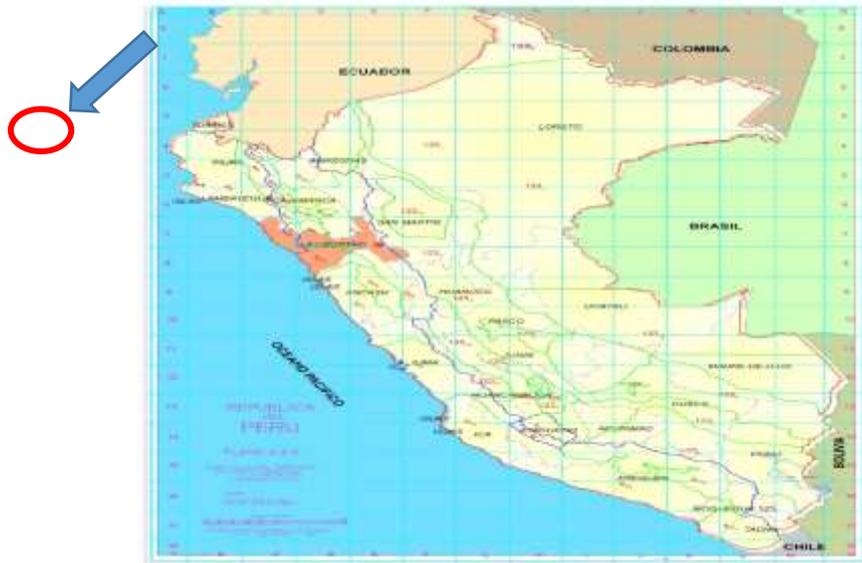
Región Hidrológica y parámetros

Región hidrológica:	10 ₁	COSTA
Altitud media:	Y = 231	msnm
Duración de lluvias diarias (Perú):	t _g = 15.2	horas
Parámetros de zona:	e _g = 34.35	(adimensional)
Parámetros de intensidades:	a = 5.21	mm
Parámetros de frecuencia:	K = 1.45	(adimensional)
Parámetros de duraciones:	n = 0.434	(adimensional)
Parámetros de duraciones por regiones:	b = 0.2	horas

Nota: Procesada en Excel

Figura 26

Subdivisión de zonas pluviométricas



Nota: Procesada en Excel

Tabla 17

Subdivisión de zonas pluviométricas

ZONA	K'_g	Subzona	ε_g	
123	$K'_g = 0,553$	123 ₁	$\varepsilon_g = 85,0$	
		123 ₂	$\varepsilon_g = 75,0$	
		123 ₃	$\varepsilon_g = 100 - 0,022 Y$	
		123 ₄	$\varepsilon_g = 70 - 0,019 Y$	
		123 ₅	$\varepsilon_g = 24,0$	
		123 ₆	$\varepsilon_g = 30,5$	
		123 ₇	$\varepsilon_g = -2 + 0,006 Y$	
		123 ₈	$\varepsilon_g = 26,6$	
		123 ₉	$\varepsilon_g = 23,3$	
		123 ₁₀	$\varepsilon_g = 6 + 0,005 Y$	
		123 ₁₁	$\varepsilon_g = 1 + 0,005 Y$	
		123 ₁₂	$\varepsilon_g = 75,0$	
		123 ₁₃	$\varepsilon_g = 70$	
4	$K'_g = 0,861$	4 ₁	$\varepsilon_g = 20$	
5a	$K'_g = 11 \cdot \varepsilon_g^{-0,85}$	5 a ₁	$\varepsilon_g = -7,6 + 0,006 Y$	(Y > 2300)
		5 a ₂	$\varepsilon_g = 32 - 0,177 D_c$	
		5 a ₃	$\varepsilon_g = -13 + 0,010 Y$	(Y > 2300)
		5 a ₄	$\varepsilon_g = 3,8 + 0,0053 Y$	(Y > 1500)
		5 a ₅	$\varepsilon_g = -6 + 0,007 Y$	(Y > 2300)
		5 a ₆	$\varepsilon_g = 1,4 + 0,0067$	
		5 a ₇	$\varepsilon_g = -2 + 0,007 Y$	(Y > 2000)
		5 a ₈	$\varepsilon_g = 24 + 0,0025 Y$	
		5 a ₉	$\varepsilon_g = 9,4 + 0,0067 Y$	
		5 a ₁₀	$\varepsilon_g = 18,8 + 0,0028 Y$	
		5 a ₁₁	$\varepsilon_g = 32,4 + 0,004 Y$	
		5 a ₁₂	$\varepsilon_g = 19,0 + 0,005 Y$	
		5 a ₁₃	$\varepsilon_g = 23,0 + 0,0143 Y$	
		5 a ₁₄	$\varepsilon_g = 4,0 + 0,010 Y$	
5b	$K'_g = 130 \cdot \varepsilon_g^{-1,4}$	5 b ₁	$\varepsilon_g = 4 + 0,010$	(Y > 1000)
		5 b ₂	$\varepsilon_g = 41,0$	
		5 b ₃	$\varepsilon_g = 23,0 + 0,143 Y$	
		5 b ₄	$\varepsilon_g = 32,4 + 0,004 Y$	
		5 b ₅	$\varepsilon_g = 9,4 + 0,0067 Y$	
6	$K'_g = 5,4 \cdot \varepsilon_g^{-0,6}$	6 ₁	$\varepsilon_g = 30 - 0,50 D_c$	
9	$K'_g = 22,5 \cdot \varepsilon_g^{-0,85}$	9 ₁	$\varepsilon_g = 61,5$	
		9 ₂	$\varepsilon_g = -4,5 + 0,323 D_m$	(30 ≤ D _m ≤ 110)
		9 ₃	$\varepsilon_g = 31 + 0,475(D_m - 110)$	(D _m ≤ 110)
10	$K'_g = 1,45$	10 ₁	$\varepsilon_g = 12,5 + 0,95 D_m$	

Nota: Procesada en Excel

los coeficientes, le permiten determinar la cantidad de precipitaciones e intensidades en diferentes periodos. Donde la tabla 19 y 20 se tiene los resultados según la zona 10 (Tumbes). Y así obtener las curvas IDF.

Siendo:

t: duración de lluvia diaria (horas)

T: periodo de retorno en años

Para t entre 3 ~ 24 horas

$$P_t = a (1 + K \log T) t^n$$

$$I_t = a (1 + K \log T) t^{n-1}$$

Tabla 18

Precipitación de diseños para duraciones menor a 24 horas

DURACIÓN		PERÍODO DE RETORNO (años)								
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
1.00	60.00	76.78	164.59	245.20	340.77	375.06	493.57	631.85	792.09	1041.68
1.50	90.00	89.31	191.45	285.21	396.38	436.27	574.12	734.96	921.35	1211.67
2.00	120.00	99.89	214.12	318.98	443.31	487.92	642.09	821.97	1030.44	1355.13
4.00	240.00	129.48	277.55	413.47	574.63	632.46	832.30	1065.47	1335.68	1756.56
6.00	360.00	154.39	330.95	493.02	685.20	754.15	992.44	1270.47	1592.68	2094.53
7.00	420.00	165.07	353.85	527.13	732.61	806.33	1061.11	1358.37	1702.87	2239.45
8.00	480.00	174.92	374.96	558.59	776.32	854.44	1124.42	1439.42	1804.48	2373.07
10.00	600.00	192.71	413.09	615.39	855.26	941.33	1238.76	1585.79	1987.97	2614.38
11.00	660.00	200.84	430.54	641.38	891.38	981.08	1291.07	1652.76	2071.93	2724.79
12.00	720.00	208.57	447.11	666.06	925.68	1018.84	1340.76	1716.37	2151.66	2829.66
24.00	1440.00	281.78	604.03	899.83	1250.57	1376.42	1811.33	2318.77	2906.84	3822.79

Nota: Procesada en Excel

Tabla 19

Intensidades de diseños para duraciones menor a 24 horas

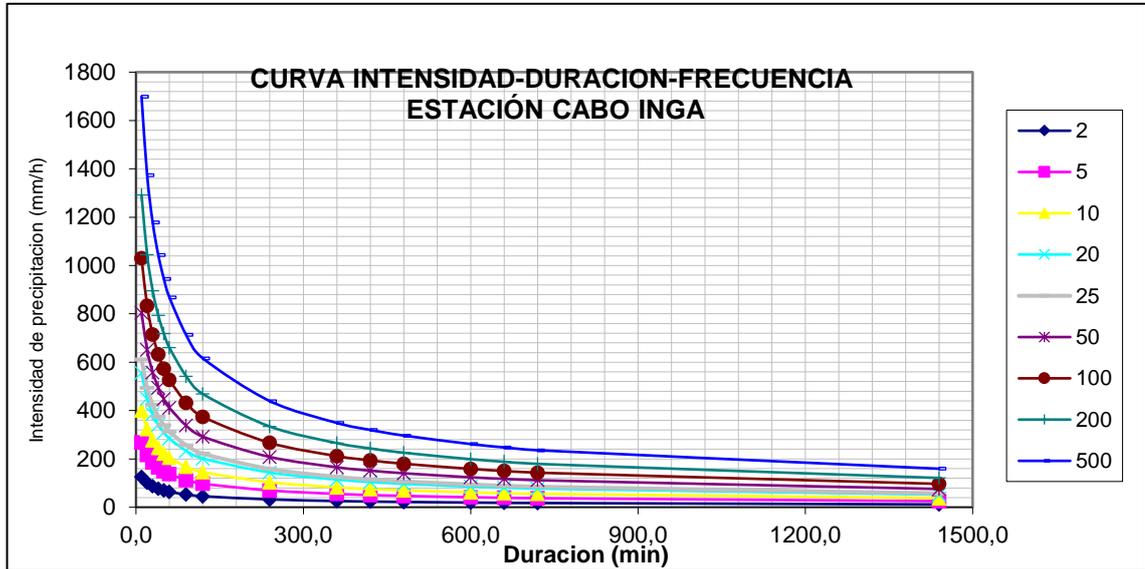
DURACIÓN		PERÍODO DE RETORNO (años)								
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
1.00	60.00	63.99	137.16	204.33	283.98	312.55	411.31	526.54	660.08	868.07
1.50	90.00	52.54	112.62	167.77	233.17	256.63	337.72	432.33	541.97	712.75
2.00	120.00	45.40	97.33	144.99	201.51	221.78	291.86	373.62	468.38	615.97
4.00	240.00	32.37	69.39	103.37	143.66	158.12	208.08	266.37	333.92	439.14
6.00	360.00	25.73	55.16	82.17	114.20	125.69	165.41	211.74	265.45	349.09
7.00	420.00	23.58	50.55	75.30	104.66	115.19	151.59	194.05	243.27	319.92
8.00	480.00	21.86	46.87	69.82	97.04	106.80	140.55	179.93	225.56	296.63
10.00	600.00	19.27	41.31	61.54	85.53	94.13	123.88	158.58	198.80	261.44
11.00	660.00	18.26	39.14	58.31	81.03	89.19	117.37	150.25	188.36	247.71
12.00	720.00	17.38	37.26	55.51	77.14	84.90	111.73	143.03	179.31	235.80

24.00 1440.00 11.74 25.17 37.49 52.11 57.35 75.47 96.62 121.12 159.28

Nota: Procesada en Excel

Tabla 20

Curvas IDF- Estacion Cabo Inga



Nota: Procesada en Excel

Tabla 21

Método del bloque alterno

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN N	INTENSIDAD D	PROFUNDIDAD D ACUMULADA	PROFUNDIDAD D INCREMENTAL	TIEMPO O	PRECIPITACIÓN N
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
5	1,637.08	136.42	136.42	0-5	14.79
10	1,165.34	194.22	57.80	5-10	15.44
15	955.22	238.80	44.58	10-15	16.20
20	829.53	276.51	37.70	15-20	17.09
25	743.55	309.81	33.30	20-25	18.13
30	679.96	339.98	30.16	25-30	19.41
35	630.46	367.76	27.78	30-35	20.99
40	590.49	393.66	25.89	35-40	23.06
45	557.36	418.02	24.35	40-45	25.90
50	529.29	441.07	23.05	45-50	30.17
55	505.12	463.03	21.95	50-55	37.71
60	484.02	484.02	20.99	55-60	57.80
65	465.39	504.17	20.15	60-65	136.42
70	448.78	523.58	19.40	65-70	44.58
75	433.85	542.32	18.73	70-75	33.30
80	420.34	560.45	18.13	75-80	27.79
85	408.02	578.04	17.58	80-85	24.35
90	396.75	595.12	17.08	85-90	21.95
95	386.37	611.75	16.62	90-95	20.15
100	376.77	627.95	16.20	95-100	18.74
105	367.86	643.76	15.81	100-105	17.59
110	359.56	659.21	15.44	105-110	16.63

115	351.81	674.31	15.10	110-115	15.81
120	344.55	689.09	14.78	115-120	15.10

Nota: Procesada en Excel

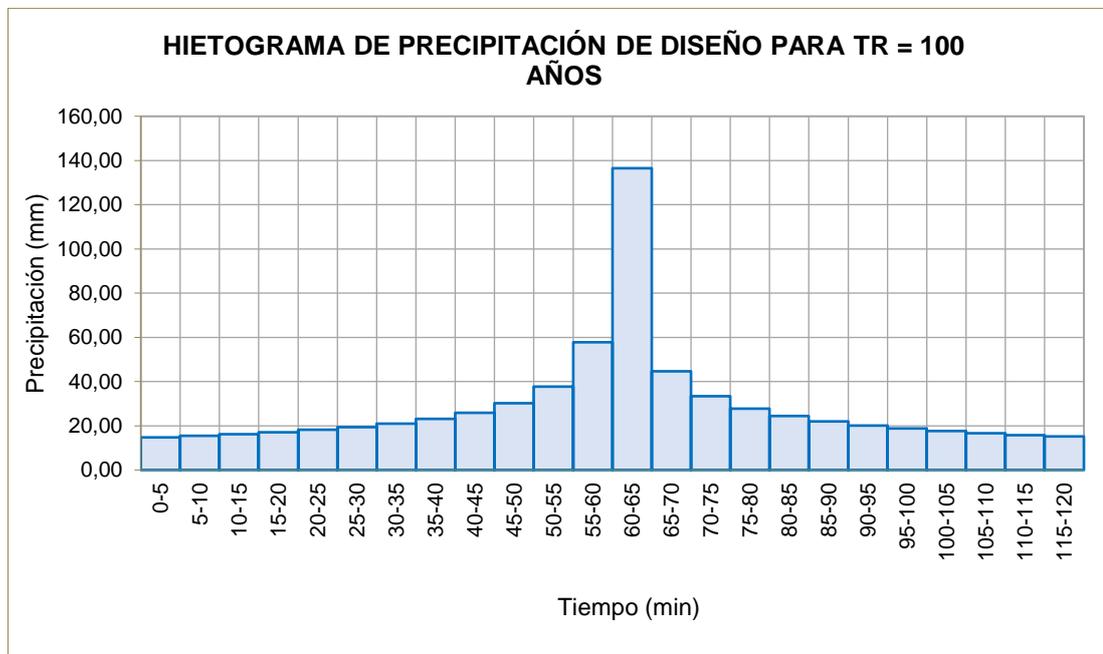
Curva Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF)

$$I = \frac{2.6551 \cdot 0.4509 \cdot T}{t^{0.49}}$$

I: Intensidades máximas (mm/h)
T: Períodos de retorno en años =100
t: Duración de la precipitación (min)

Figura 27

Hietograma de TR 100 años - Cabo Inga

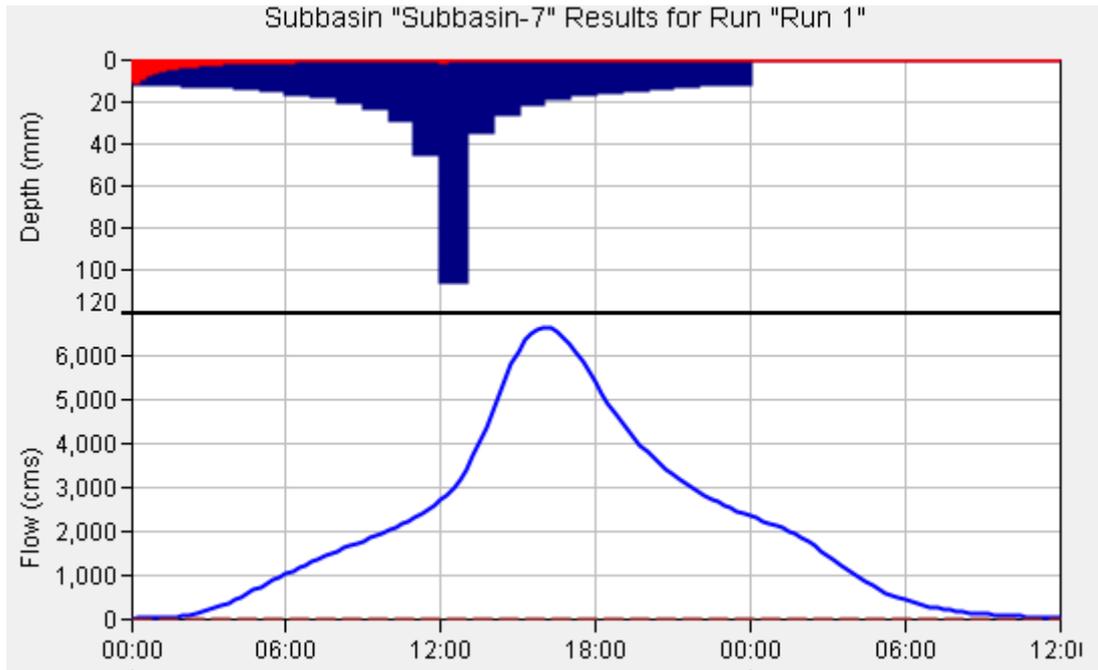


Nota: Procesada en Excel

Los resultados finales, consistía en crear un yetograma o hietograma que defina la lluvia dividiéndola en escalas de tiempo (horas o minutos). Posteriormente ingresaremos el modelo hidrológico y lo convertiremos a un histograma de 12 horas. Esto eleva el caudal máximo de sedimentos centenarios a 6.500 metros cúbicos.

Figura 28

Histograma de diseño



Nota: Procesada en Excel

Se aplicó SCS, un método de pérdida y conversión de flujo, porque se recomienda para diversas aplicaciones a lo largo de la costa peruana. Por lo tanto, las características basadas en el diseño del método son similares a las de la región costera de Tumbes. Esto no es necesariamente recomendable para regiones áridas o semiáridas.

La extracción de precipitación es del 20% del número de curvas en cada subcuenca. A menudo se supone que el valor es cero debido a la falta de información sobre la metodología completa.

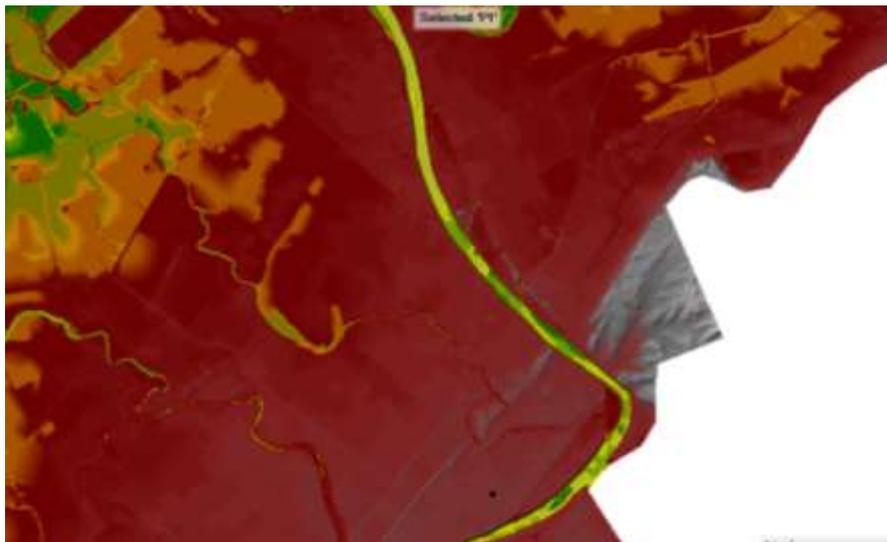
4.2. REPRESENTACIÓN HIDRODINÁMICA DEL RIO DE ESTUDIO

La finalidad de este objetivo, es presentar una predicción del caudal de agua del río Tumbes. Por esta razón, es necesario crear un modelo hidráulico que funcione con un método de discretización de volúmenes finitos. Este método es útil para trabajar con redes no estructuradas (irregulares). Cabe señalar que los ríos estudiados se caracterizan por curvaturas e irregularidades, lo que se puede lograr a través de redes.

Por eso se utilizó una batimetría de 4.5 kilómetros de río Tumbes, partiendo de la estación hidrométrica Puente Tumbes hasta culminar el tramo de la ciudad de Tumbes. Esta tiene una resolución de cinco (5) metros.

Figura 29

Batimetría del río Tumbes



Nota: Extraída de Hec-ras, procesada en GIS.

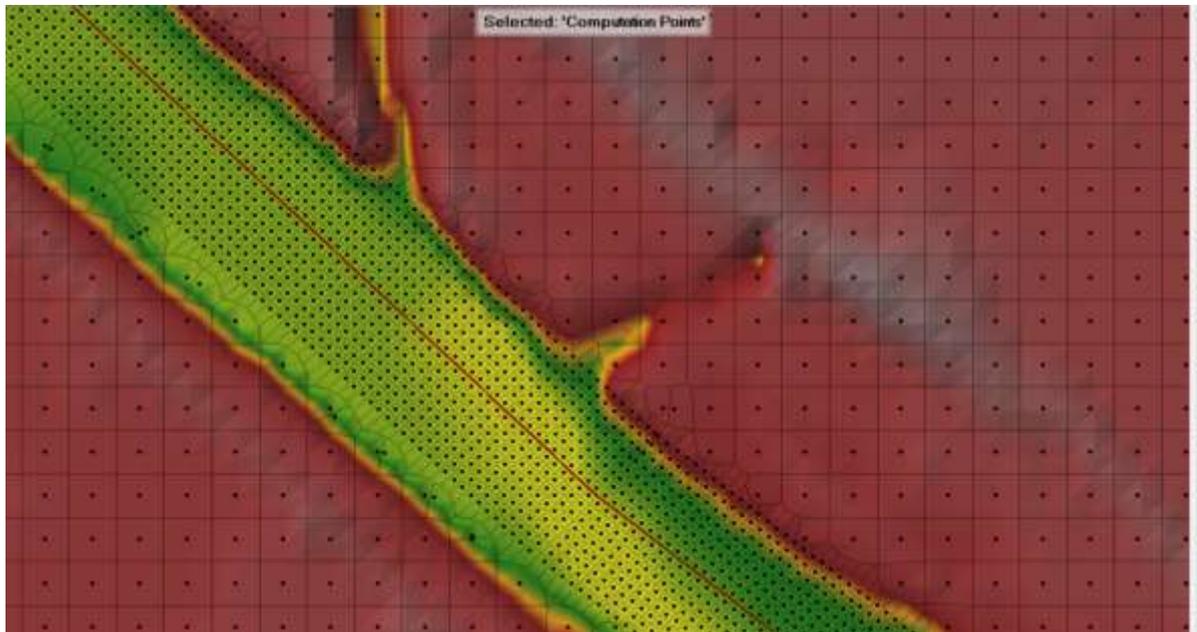
Para utilizar de manera eficiente los métodos numéricos que se describen a continuación, el dominio debe dividirse en polígonos que no se superpongan para formar una cuadrícula (US Army Corps of Engineers, 2022). Por este motivo se utilizaron dos redes. El primero tiene una resolución de 30 metros y se aplica a la llanura aluvial. Sin embargo, para el canal principal es de 5 metros ya que estas áreas deben ajustarse para aumentar la precisión de los resultados.

Una resolución baja (tamaño de malla grande) puede dar como resultado áreas de inundación falsa. Estos tamaños de malla se predeterminaron a partir del análisis de sensibilidad para obtener el tamaño óptimo y no exceder el tamaño que debería estar presente.

Es importante que la malla cumpla con los criterios de verticalidad y que las celdas tengan un número pequeño de vértices para aumentar la confiabilidad de los resultados. Esto se debe a que pueden ocurrir errores en la simulación.

Figura 30

Mallado del dominio



Nota: Extraída de Hec-ras

Las opciones para controlar los cálculos 2D durante el tiempo de ejecución están disponibles en el mismo editor que contiene las opciones y configuraciones.

- Factor de ponderación Theta (0.6 – 1.0)

Se utiliza para ponderar la derivada espacial entre el tiempo de solución actual y el tiempo calculado previamente. El mismo manual (US Army Corps of Engineers, 2022), nos recomienda un valor (1,0), ya que aumenta la

estabilidad pero puede reducir la precisión. En el valor mínimo (0,60), ocurre lo contrario: la precisión es mayor, pero el modelo es menos estable.

- Ecuaciones a trabajar: Onda difusiva 2D

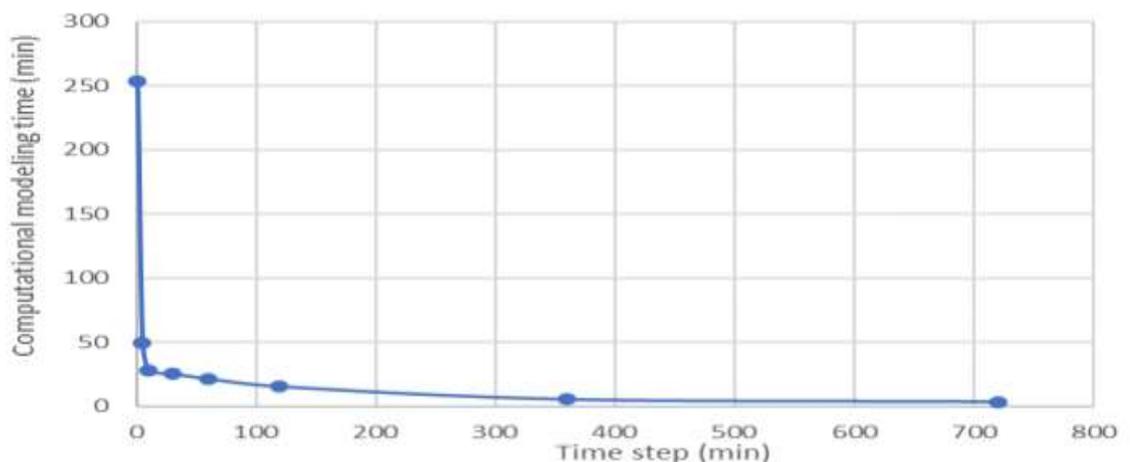
Se trabajó con la; ecuación de aguas poco profundas utilizando el método de Euler-Langrange para resolver la advección (SWE-ELM). Utilice el método de Euler para la advección. En general, *“la mayoría de las aplicaciones de inundación funcionarán bien con las ecuaciones de Onda de Difusión 2D. El conjunto de ecuaciones de onda de difusión se ejecutará más rápido y es inherentemente más estable”* (US Army Corps of Engineers, 2022). Por lo tanto, utilizamos la ecuación de onda de difusión para la aproximación bidimensional.

- Tiempo del computacional

El tiempo de un paso de cálculo es un punto importante porque reducir el tiempo de un paso de cálculo conducirá a un aumento en el tiempo de simulación del programa. Además, el desarrollo requiere mucho tiempo y depende de la computadora.

Figura 31

Tiempo de paso computacional vs tiempo de simulación



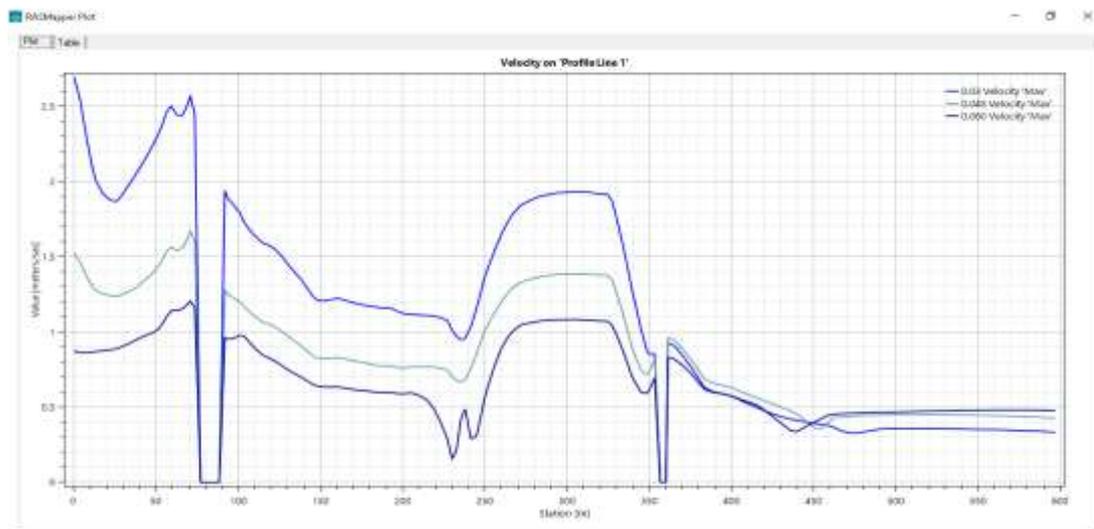
Nota: Extraída de Hec-ras

- Coeficiente de Manning

Primero, evaluamos la sensibilidad del coeficiente de Manning para comprender su magnitud. Podemos concluir que a mayor Manning, traería consigo menores velocidades (Figura 32); de igual sucede el mismo comportamiento para los tirantes de agua o profundidades (Figura 33).

Figura 32

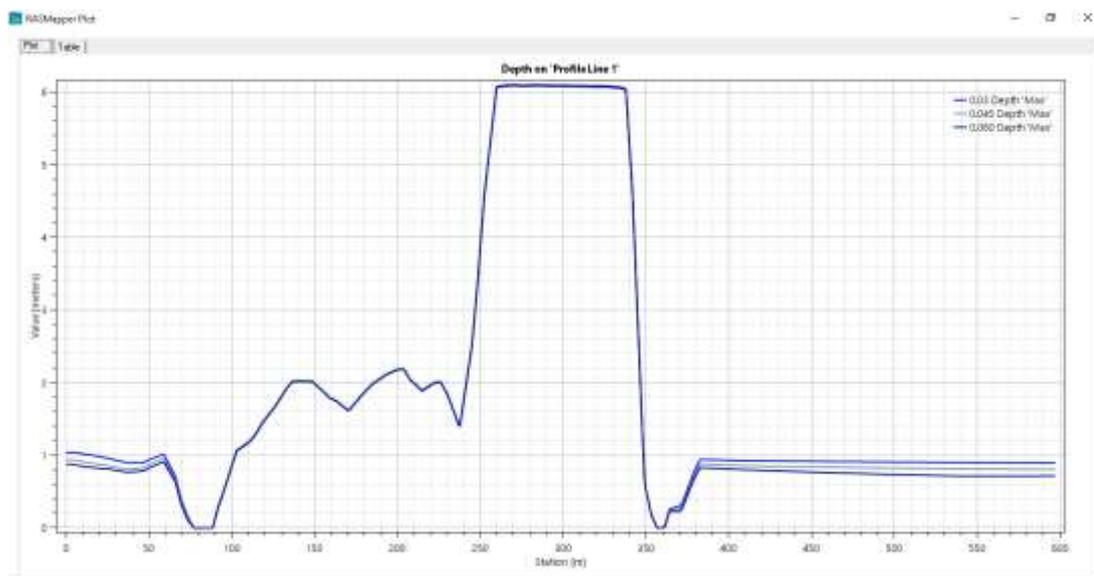
Velocidades con diferentes valores de Manning



Nota: Extraída de Hec-ras

Figura 33

Tirantes con diferentes valores de Manning



Nota: Extraída de Hec-ras

Considerando la sensibilidad, se realizó un cierto número de iteraciones para encontrar valores adecuados cercanos a los medidos en campo. Mediante las mediciones proporcionados por SENAMHI, que midió velocidades mediante un correntómetro y tirantes con la regla limnimétrica en temporada de lluvia.

Teniendo como valor razonable son el valor de Manning de 0.034, con error de velocidad del tirante de 2.57 % y 8.31%. Cabe mencionar que la topografía no corresponde con los años de mediciones, lo que genera grandes errores de tirantes son mayores, por lo que los ríos sinuosos sufren cambios morfológicos a través de los años. Por ello es recomendable que la información, llegue coincidir.

Tabla 22

Calibración del modelo hidráulico

ESTACION		LATITUD				Coefficiente de Manning		
Tigre		:		-3.768747		: 0.034		
ALTITUD		LONGITUD						
44 msnm		UD :		-80.456639				
TEMPORADA DE LLUVIA								
FECHA	Hora de Aforo	MIR A (m)	DESCARGA (m3/s)	Velocidad des medido(m/s)	Velocidad es simulada(m/s)	Tirantes simulada (m)	Error -v %	Error -y %
2/25/2019	11:05 - 13:20	2.82	461.20	1.47	1.43	2.78	2.72 %	1.42 %
2/26/2019	06:40 - 08:30	2.50	322.05	1.17	1.19	2.50	1.71 %	0.00 %
2/27/2019	06:50 - 08:35	2.45	316.38	0.83	0.92	2.41	10.84 %	1.63 %
2/13/2019	08:30 - 10:15	1.75	130.44	0.77	0.73	1.84	5.19 %	5.14 %
2/14/2019	10:45 - 12:10	1.64	115.78	0.71	0.71	1.83	0.00 %	11.59 %
2/15/2019	06:45 - 08:10	1.56	106.52	0.66	0.71	1.83	7.58 %	17.31 %
2/19/2019	08:05 - 10:10	1.50	95.42	0.66	0.67	1.70	1.52 %	13.33 %
2/7/2019	08:50 - 10:20	1.47	90.98	0.65	0.67	1.70	3.08 %	15.65 %
2/18/2019	06:40 - 08:00	1.48	88.80	0.63	0.67	1.70	6.35 %	14.86 %
							2.57 %	8.31 %

4.3. SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DEL RIO DE ESTUDIO

Se simula el modelo ya armado, con el número de Manning calculado en el análisis de sensibilidad. Se tiene los siguientes resultados. Para el tirante de agua, se tiene intervalos desde 0 hasta 6 metros, teniendo consigo tirantes superiores a 50 centímetros (Figura 34).

Figura 34

Tirantes de agua



Nota: Extraída de Hec-ras

En caso de velocidades se tiene rangos desde 0 hasta 5 m/s, donde la ciudad de Tumbes sufre velocidades del flujo de agua, superior 0.50 m/s. Teniendo las mayores velocidades en el mismo cauce del río (Figura 35). Mientras los niveles de agua varían desde 0 a 6 msnm (Figura 36).

Figura 35

Velocidades



Nota: Extraída de Hec-ras

Figura 36

Niveles de agua



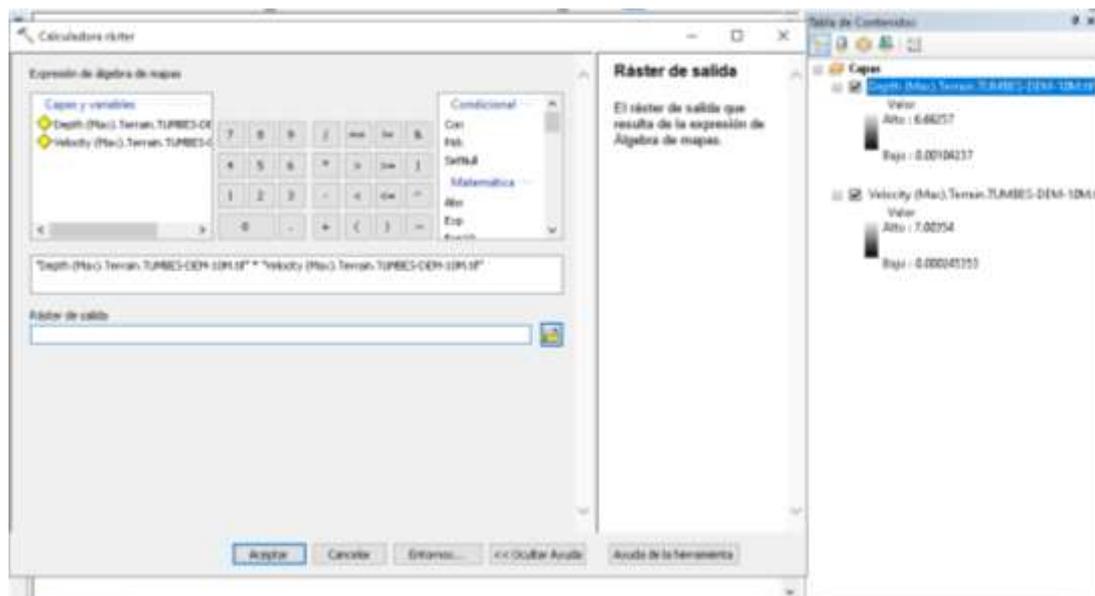
Nota: Extraída de Hec-ras

4.4. NIVELES DE SEVERIDAD

Luego de obtener el mapa raster de velocidades y tirantes, se procedió a entrar a la calculadora raster para realizar la operación Velocidad Tirante y con ello poder tener el nivel de severidad. Posterior a ella, se reclasifico según la figura 12, que clasifica los niveles de severidad.

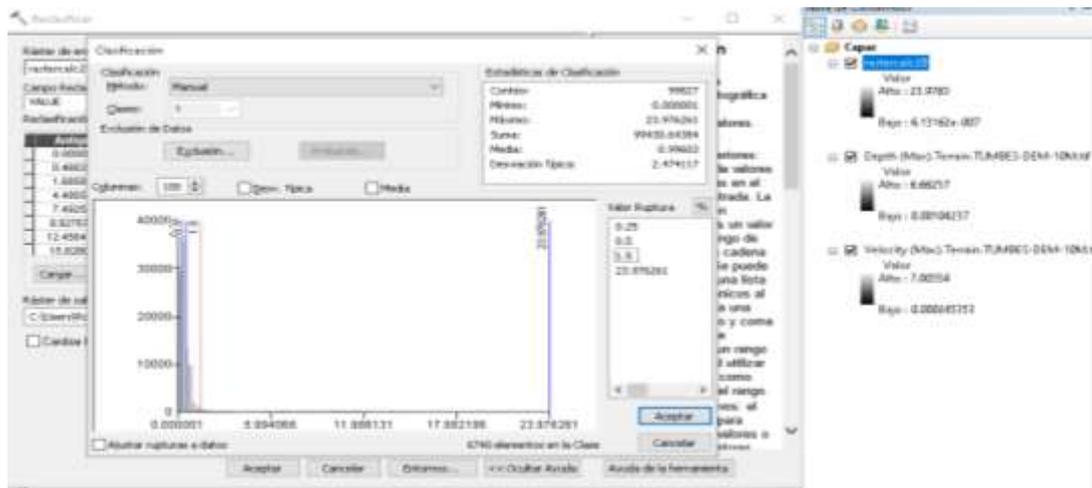
Figura 37

Calculadora raster



Nota: Extraída ArcGIS

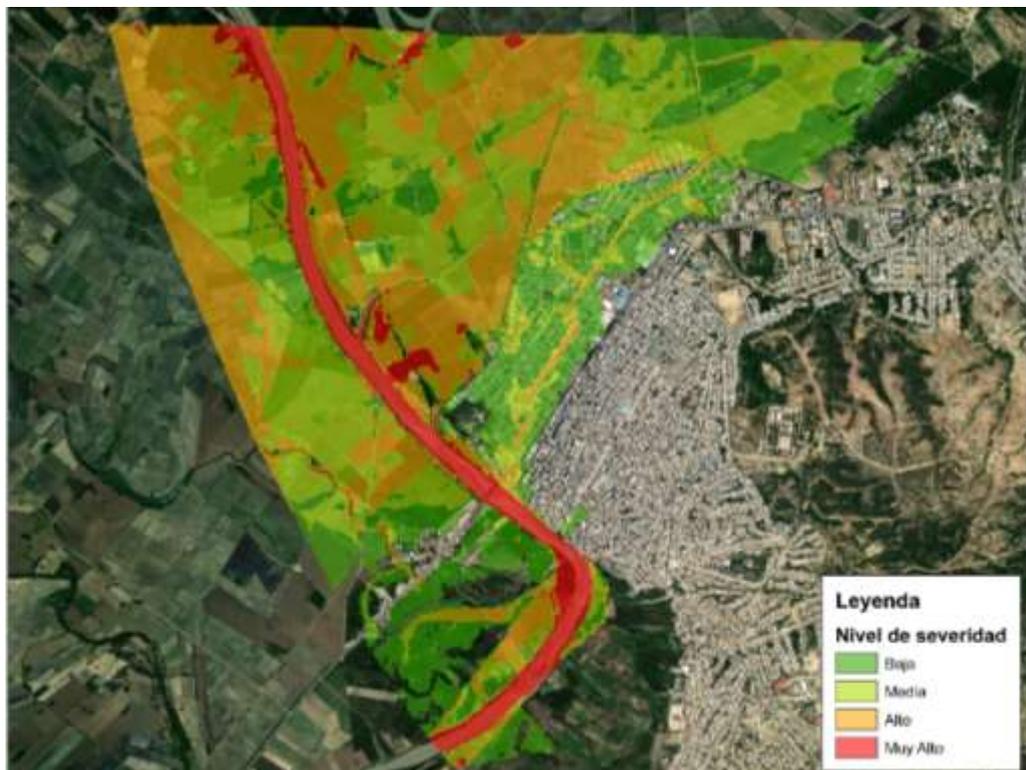
Figura 38
Reclasificación



Nota: Extraída ArcGIS

Luego del procesamiento se tiene el siguiente resultado (Figura 39), y se recortó para visualizar el área involucrada a la ciudad de Tumbes (Figura 40).

Figura 39
Niveles de severidad genera



Nota: Extraída ArcGIS

Figura 40

Niveles de severidad



Nota: Extraída ArcGIS

Las áreas que representa un nivel de severidad baja, equivalen a 0.82 Km² de la ciudad de Tumbes, 0.31 Km² representa a un nivel de severidad media, 0.14 Km² nivel de severidad alta. Concluyendo que la ciudad de tumbes tienes niveles de severidad ante inundación, desde muy bajo hasta alto, con ello las autoridades pueden realizar sus medidas respectivas.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El modelo hidrológico HEC-HMS, represento correctamente las avenidas máximas del rio Tumbes y eso da mayor confiabilidad para proyectar futuros escenarios y esto también lo describe Cabrera et al. (2020), donde menciona que el modelo es capaz de representar el sistema hidrológico, debido que simula satisfactoriamente los caudales de escorrentía en la cuenca de estudio.

El modelo hidrodinámico debe ser calibrado con el coeficiente de Manning para que pueda representar correctamente el movimiento del flujo de agua en diversos periodos puntuales, la cual nos ayuda a gestionar la severidad de inundación. Esto lo confirma Perez et al. (2018) , la cual concluye que la modelación hidrodinámica se convierte en una herramienta metodológica para que las instituciones competentes tomen decisiones que permitan gestionar el riesgo de inundación de forma acertada. Además, Escuder et al. (2010) describe que el modelo hidrodinámico mejora la gestión de riesgos por inundaciones.

La representación hidrodinámica fue de 2.57% de error en velocidades y 8.31% en tirantes. Teniendo consigo un promedio de 5.44 de error y una representación superior al 94%, concluyendo que el modelo escogido representa correctamente el movimiento del flujo de agua, teniendo un buen performance. Esto lo afirma Álvarez et al. (2022), que concluye en su investigación, que la simulación del modelo Hec-Ras, muestra la presentación de un 75% acorde a lo acontecido históricamente, mediante evidencias fotográficas y de imagen satelital, considerando las extensiones del flujo.

CONCLUSIONES

Las distribuciones probabilísticas se adecuan según la información de lluvia que se tenga, es decir su comportamiento que tiene en función a su orografía. Es por ello, que todas las estaciones meteorológicas involucradas por un estudio, debe realizarse un análisis de avenidas máximas independientemente. Y obtener la curva de la distribución que se ajusta, mediante test de Kolgomorov Smirnov que es una prueba de bondad.

Para la representación hidrológica de una cuenca, se debe realizar mediante un modelo hidrológico, que ayude a replicar correctamente los procesos en la transformación de la precipitación a escorrentía. Otorgando un caudal pico de $6500 \text{ m}^3/\text{s}$ para una ocurrencia centenaria. Donde el mismo modelo, te lo proporciona desagregado en diversos intervalos de tiempo, para ingresarlo al modelo hidrodinámico.

El coeficiente de rugosidad de Manning, es el parámetro más sensible para un modelo hidrodinámico, debido que causa la variación significativa de velocidad, niveles de agua y tirantes. Es por ello que es importante realizar el proceso de calibración, para que nos ayude a representar la hidrodinámica del río de estudio, en ciertos periodos puntuales de estudio. Con la finalidad de poder representar eventos futuros como una avenida centenaria.

Las áreas que representa un nivel de severidad baja, equivalen a 0.82 Km^2 de la ciudad de Tumbes, 0.31 Km^2 representa a un nivel de severidad media, 0.14 Km^2 nivel de severidad alta. Concluyendo que la ciudad de tumbes tienes niveles de severidad ante inundación, desde muy bajo hasta alto, con ello las autoridades pueden realizar sus medidas respectivas.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a las autoridades respectivas del monitoreo de la cuenca Tumbes, en implementar niveles de severidad para estudios de inundabilidad, para que tengan una estimación más aproximada al peligro que tendría ciertas comunidades cercanas ante una inundación.

Se recomienda al Proyecto Especial Puyango Tumbes, en proporcionar los insumos actualizados, para que se puedan realizar investigaciones en el área involucrada a ellos.

Se recomienda a los futuros tesis, considerar otros modelos hidrodinámicos que trabajen con el esquema numérico de elementos finitos y diferencias finitas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre Núñez, M. (2011). La Cuenca Hidrográfica en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. *REDESMA*, 13.
- Alvarez, G., & Moreno, C. (2022). *Modelamiento hidráulico para el control y prevención de inundaciones mediante el uso de Hec-Ras 2d en la zona urbana del río Piura*. Lima.
- Aranda Monsalve, R. L. (2009). *Simulación Continua de LLuvias para el Diseño de Sistemas de Drenaje Urbano*. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Bank, T. W. (2005). *Natural Disasters Hotspots A Global Risk Analysis*.
- Bermeo Artunduaga, S. A., León Hernández, A. R., & López López, H. E. (2018). *Estimación de los Caudales Máximos y Caracterización Mpfométrica de la Subcuenca del Cauce en el Sector Hidrodependiente del Municipio de San Francisco - Cundinamarca*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Cabrera, J., Timbe, L., & Crespo, P. (2019). *Evaluación del modelo HEC-HMS para la simulación hidrológica de una cuenca de páramo*. Ecuador.
- Campo, A. M., Aldalur, N. B., & Fernández, S. N. (2011). Morfometría fluvial aplicada a una cuenca urbana en Ingeniero White, República Argentina. *Instituto de Geografía de la UNAM*, 11.
- Campos Aranda, D. F. (1998). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. San Luis Potosí, México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Conesa García, C., & García Lorenzo, R. (2011). *FACTORES E ÍNDICES DE PELIGROSIDAD DE LAS AGUAS DE AVENIDA EN CRUCES DE CARRETERAS CON RAMBLAS ESTUDIO APLICADO A LA VERTIENTE LITORAL SUR DE LA REGIÓN DE MURCIA*. Murcia: Universidad de Murcia.

- Damayanti, F. (2011). *Hydrodynamic modelling for flood hazard assessment, Central Java, Indonesia*. Indonesia.
- Escuder, I., Matheu, E., & Castillo, J. (2010). *Análisis y evaluación de riesgos de inundación: estimación del impacto de medidas estructurales y no estructurales*. España.
- Geoenciclopedia. (2011). *GeoEnciclopedia*. Precipitación: <https://www.geoenciclopedia.com/precipitacion/>
- Guerra, F., & Gonzáles, J. (2002). Caracterización Morfométrica de la Cuenca de la Quebrada La Bermeja, San Cristóbal, Estado. *Geoenseñanza*, 22.
- Hernández Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill.
- Ingeniería Hidráulica. (2020). *Ingeniería Hidráulica*. Hietograma a partir de Curvas IDF: <https://www.hidraulicautiling.com/2020/04/como-obtener-curvas-idf-y-el-hietograma.html>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (1994). *Guía de Prácticas Hidrológicas*. Organización Meteorológica Mundial [OMM]. Medición de las Precipitaciones: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/012406/Tablaciontenido.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2022). *IDEAM - GOV.CO. Modelación Hidrológica*: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica#:~:text=Un%20modelo%20hidrol%C3%B3gico%20es%20pues,representado%20por%20una%20expresi%C3%B3n%20anal%C3%ADtica>.
- Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI]. (2011). *Manual de Estimación del Riesgo Ante Inundaciones Fluviales*. Lima: INDECI.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2011). *Manual de estimación del riesgo ante inundaciones fluviales*.

- International Union for Conservation of Nature [UICN]. (2022). *Cuenca Hidrográfica*. UICN - Building River Dialogue and Governance.
- Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad [LANCIS]. (2022). *LANCIS. Modelación Hidrológica*: http://lancis.ecologia.unam.mx/iai/modelacion_hidrologica
- Lluén Chero, W. E. (2015). *Aplicación de la Nueva Herramienta HEC-RAS 5.0 para Cálculos Bidimensionales del Flujo de Agua en Ríos*. Barcelona: Escola de Camins.
- Luque, L. (2020). *Coastal Floods and mudslides risk in Peru*. España.
- Maderey Rascón, L. E. (2005). *Principios de Hidrogeografía: Estudio del Ciclo Hidrológico*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Maria del Valle Morresi, R. M., Elizalde Carrillo, E., Macor, J., & Cristina, I. (2019). *Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) de la Estación Meteorológica del CIM-FICH. Serie 1986 - 2016*. Santa Fe - Argentina: Universidad Nacional del Litoral.
- Ministerio de Agricultura. (2007). *Evaluación de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Mala*. Mala: Instituto Nacional de Recursos Naturales Intendencia de Recursos Hídricos.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones [MTC]. (2008). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Lima: MTC.
- Minitab 18. (2022). *Minitab 18*. Distribuciones de Probabilidad Continuas y Discretas: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/probability-distributions-and-random-data/supporting-topics/basics/continuous-and-discrete-probability-distributions/>
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero, H. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de tesis*. Bogotá: Ediciones de la U.
- OCHA. (2019). *Natural disasters in Latin America and the Caribbean*.
- Ordoñez Gálvez, J. J. (2011). *Ciclo Hidrológico*. Lima: SENAMHI.

- Pérez, J., Escobar, J., & Fragozo, J. (2018). *Modelación Hidráulica 2D de Inundaciones en Regiones con Escasez de Datos. El Caso del Delta del Río Ranchería, Riohacha-Colombia*. Colombia.
- Ramirez Ruiz, C. (2020). *Introducción a la Modelación Numérica con Dinámica de Fluidos Computacional*. México: Webinar COMEII.
- Rodriguez, R. (2013). *Precipitación Media*. Venezuela: IUP "Santiago Mariño".
- Rojo, J. (2008). *weebly*. Morfometría de Cuencas: <http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/morfometria.pdf>
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales [SNET]. (2001). *Análisis Preiminar dde Peigrosidad*. Catalunya: Universidad de Catalunya.
- Supo, J. (2012). *Seminario de Investigación Científica*. Bioestadístico.
- The Free Dictionary. (2022). *The Free Dictionary*. Pluviometría: <https://es.thefreedictionary.com/pluviometr%C3%ADa>
- Toledo Díaz, M. (7 de Julio de 2019). *Fisicotrónica*. Discretización: el salto cualitativo: <http://fisicotronica.com/discretizacion-el-salto-cualitativo/#:~:text=El%20t%C3%A9rmino%20discretizaci%C3%B3n%20es%20un,y%20ecuaciones%20a%20contrapartes%20discretas>
- US Army Corps of Engineers. (abril de 2021). *Hydrologic Engineering Cente*. HEC - RAS: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- Vicente Rodriguez, W., & Salinas Vázquez, M. (Febrero de 2018). *Instituto de Ingeniería UNAM*. Dinámica de Fluidos Computacional: <http://www2.iingen.unam.mx/es-mx/Publicaciones/GacetaElectronica/Enero-Febrero2018/Paginas/Dinamicadefluidos.aspx>
- Villón Béjar, M. (2002). *Hidrología Estadística*. Lima - Perú: Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela de Ingeniería Agrícola.
- Zurich. (22 de abril de 2019). *Zurich*. Tres tipos comunes de inundacion: <https://www.zurich.com.mx/es-mx/blog/articles/2019/04/tres-tipos-comunes-de-inundacion>

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Martel Quispe, C. (2024). *Desarrollo de un modelo hidrodinámico bidimensional para la predicción de inundaciones fluviales en la ciudad de Tumbes - 2023* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA A	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	METODOLOGÍA
Problema principal	Objetivo general	Hipótesis general	Independiente				Ámbito: Ciudad de Tumbes Diseño de investigación
<p>¿De qué manera influye el desarrollo de un modelo hidrodinámico bidimensional en la predicción de las inundaciones fluviales en la Ciudad de Tumbes, 2023?</p>	<p>Evaluar la influencia del desarrollo de un modelo bidimensional hidrodinámico para predecir inundaciones fluviales en la Ciudad de Tumbes.</p>	<p>El desarrollo de un modelo hidrodinámico bidimensional influye en la predicción de las inundaciones fluviales en la Ciudad de Tumbes, 2023</p>	<p>Modelo hidrodinámico bidimensional</p>	Avenidas máximas	Hidrograma de inundación	m ³ /s	<p>Población: conjunto de viviendas damnificadas por inundaciones en la región de Tumbes</p> <p>Muestra: conjunto de viviendas afectadas de la ciudad de tumbes, debido por el desbordamiento del flujo de agua</p>
				Batimetría	Modelo de Digital de elevación	m ³ /s	
				Cobertura vegetal	Rugosidad de Manning	m ³ /s	
				Condiciones de flujo	Flujo no permanente	m ³ /s	
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Dependiente				<p>Método. Teórico (lógico, hipotético inductivo)</p> <p>Técnicas. Documentación</p> <p>Instrumentos:</p>
1. ¿De qué manera la representaci	1. Establecer la	1. La representaci	Inundación fluvial	Niveles de severidad	Velocidades	m/s	
					Tirantes	m	



<p>ón del sistema hidrológico permite predecir las avenidas máximas con diferentes periodos de retorno, en la cuenca Tumbes?</p> <p>2. ¿De qué manera la representación del sistema hidrodinámico permite predecir inundaciones fluviales en la ciudad de Tumbes?</p> <p>3. ¿De qué manera se podrá simular la hidrodinámica de manera</p>	<p>representación hidrológica para la predicción de avenidas máximas diferentes periodos de retorno.</p> <p>2. Establecer la representación del sistema hidrodinámico para la predicción de inundaciones fluviales en la Ciudad de Tumbes.</p> <p>3. Simular la hidrodinámica del río tumbes, con una avenida centenaria</p>	<p>sistema hidrodinámico se realizará mediante un proceso de calibración, para la predicción inundaciones fluviales.</p> <p>2. La representación hidrológica para la predicción de avenidas máximas, se puede desarrollar con un modelo hidrológico determinístico.</p> <p>3. La simulación hidrodinámica se simulará de manera efectiva con</p>
--	--	--



Ficha de recolección de datos
Plan de Tabulación: Simple y Compleja
Análisis de datos estadísticos:
 Análisis Estadístico Descriptivo

Nivel,
 Explicativo
Tipo:
 Función del
Propósito:
 Aplicada
Nivel De
Profundidad:
 explicativo
Naturaleza De
Los Datos Y La
Información:
 Cuantitativa
Por Los
Medios Para
Obtener
Datos: Datos
Mixtos
 Documentales y
 De Campo
Por La Mayor O
Menor
Manipulación
De Variables:
 no Experimental
Según El Tipo
De Inferencia:

<p>efectiva, del flujo del río tumbes considerand o un caudal centenario? ?</p>		<p>el modelo Hec-ras.</p>		<p>Deductivo Estadística Inferencial</p>
<p>4. ¿De qué manera se podrá obtener los niveles de severidad de inundación en la ciudad de Tumbes?</p>	<p>4. Establecer los niveles de severidad de la inundación en la ciudad de Tumbes</p>	<p>4. Los niveles de severidad se podrán obtener en función a los parámetros de salida de la simulación hidrodinámica (Velocidad y tirantes)</p>		<p>Según El Periodo Temporal En Que Se Realiza: Transversal Acuerdo Con El Tiempo En Que Se Efectúen: Sincrónica</p>

ANEXO 1

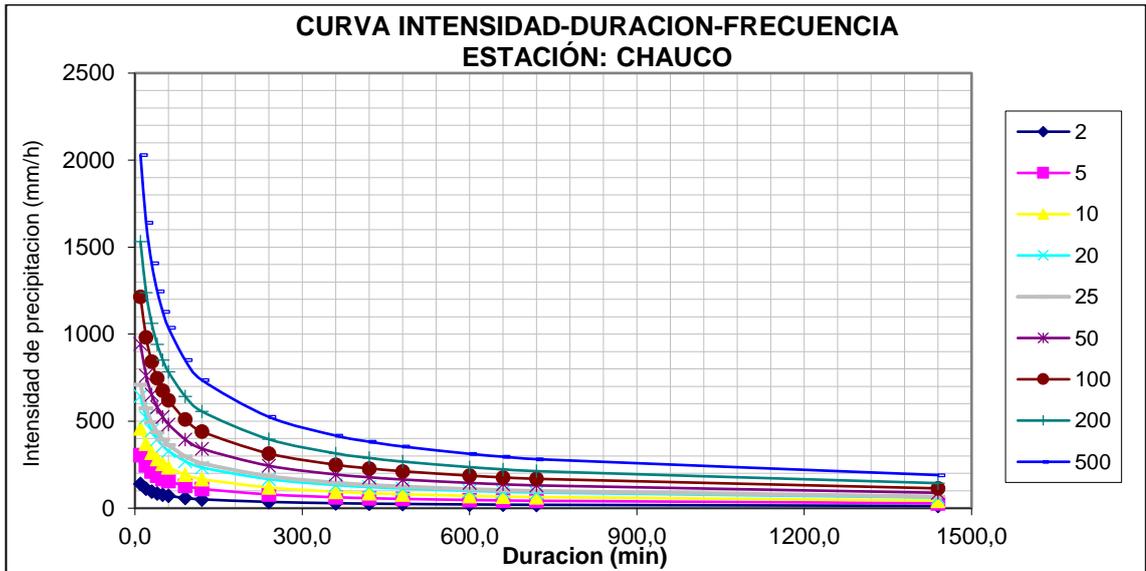
EVIDENCIAS

REGISTRO HISTÓRICO DE 24 HORAS MÁXIMA PRECIPITACIÓN. ESTACIÓN CAUCHO 80° 24' W, 6° 54' S, 231 MSNM - -
DISTRITO DE SAN JACINTO

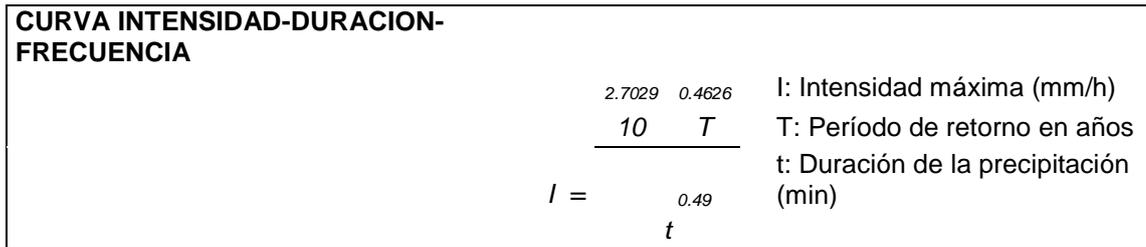
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	MÁXIMO
1981	2.3	84.4	133.2	85.7	1.8	1.7	0.8	0.9	0.4	3.5	3.3	7.8	133.2
1982	3.6	5.8	0.8	32.9	1.9	0.5	0.5	0.5	0.9	5.6	20.0	542.8	542.8
1983	853.7	556.6	618.3	2420.8	855.1	157.8	20.2	0.6	4.4	10.3	5.5	25.7	2420.8
1984	4.6	432.1	122.6	25.5	4.6	2.9	0.7	0.7	0.5	3.2	4.2	13.1	432.1
1985	15.9	24.3	53.8	9.5	2.4	1.1	0.5	1.1	0.2	4.3	2.2	14.0	53.8
1986	115.6	71.4	1.8	317.5	3.0	0.3	0.4	0.7	0.3	2.6	8.5	25.8	317.5
1987	259.3	347.1	353.3	184.6	6.0	0.9	2.1	1.2	1.5	2.6	3.7	7.0	353.3
1988	43.5	34.3	6.0	46.6	1.9	0.8	0.8	0.7	0.6	2.2	7.1	12.8	46.6
1989	131.0	315.3	120.3	87.0	2.2	4.1	0.5	0.8	0.4	7.1	2.4	3.0	315.3
1990	14.5	35.2	26.2	28.2	3.6	1.4	0.7	0.7	0.2	4.9	10.6	10.1	35.2
1991	6.9	116.8	76.9	21.7	33.0	1.0	0.4	0.5	0.3	3.7	3.8	19.6	116.8
1992	65.9	333.7	641.7	608.3	201.1	3.5	0.9	1.0	0.9	4.4	11.4	21.5	641.7
1993	23.8	280.5	233.4	300.7	54.6	2.6	1.5	1.4	0.7	10.1	4.1	19.7	300.7
1994	157.2	261.8	92.5	114.3	6.9	0.8	0.8	0.7	0.5	2.5	2.9	55.6	261.8
1995	89.4	113.0	66.8	16.8	13.2	0.6	1.7	1.0	0.4	3.8	13.7	46.9	113.0
1996	62.9	102.8	62.3	30.5	1.4	1.0	0.7	0.8	0.3	4.3	3.4	12.3	102.8
1997	28.9	67.2	156.0	267.5	38.5	12.0	3.0	1.3	10.9	14.9	368.3	1134.5	1134.5
1998	672.3	1286.1	626.2	1131.2	180.7	6.3	1.6	0.6	1.0	15.4	3.2	19.4	1286.1
1999	15.6	289.9	219.6	503.3	38.4	3.6	1.6	1.0	2.0	4.1	3.5	25.2	503.3
2000	13.8	180.6	216.2	270.9	62.3	9.3	0.7	0.8	0.7	1.1	2.4	27.4	270.9
2001	138.8	108.0	354.2	234.8	10.6	1.2	1.0	0.6	0.6	1.7	19.8	27.4	354.2
2002	10.6	382.8	395.5	673.9	4.7	1.0	0.7	0.8	0.3	8.2	4.9	47.3	673.9
2003	99.0	131.5	45.0	45.3	3.3	4.1	1.5	0.7	0.5	2.3	3.1	79.5	131.5
2004	36.4	127.8	65.4	137.5	11.3	0.8	1.1	0.6	1.1	9.8	3.8	11.2	137.5

2005	8.0	23.4	154.8	37.2	1.2	1.9	0.3	0.7	0.2	3.4	7.8	39.4	154.8
2006	103.6	454.6	194.8	35.5	1.1	2.0	1.2	0.9	0.3	1.7	18.5	24.3	454.6
2007	136.5	14.7	173.0	96.3	5.3	0.8	0.5	1.2	0.2	4.6	5.4	16.1	173.0
2008	195.2	643.9	306.7	207.2	10.7	2.7	1.3	0.9	0.4	6.6	7.2	4.0	643.9
2009	419.1	279.4	154.5	70.9	6.2	1.1	0.5	0.9	0.5	1.6	9.2	29.5	419.1
2010	92.9	333.0	219.1	322.6	7.4	1.9	1.4	0.7	0.6	4.4	6.7	24.0	333.0
2011	45.7	116.1	8.0	335.6	3.9	2.2	3.2	0.5	0.4	3.4	8.1	31.7	335.6
2012	171.6	567.3	312.3	469.4	20.1	3.4	0.6	0.5	0.0	3.9	10.9	14.5	567.3
2013	54.2	82.2	218.7	64.5	21.6	1.1	0.9	0.8	0.4	16.1	2.6	12.0	218.7
2014	56.9	81.0	19.5	24.8	56.3	10.4	0.9	0.8	0.6	14.1	3.6	51.0	81.0
2015	37.4	117.6	418.7	266.0	73.4	4.6	1.2	0.6	0.3	10.6	13.6	30.4	418.7
2016	91.6	473.6	231.3	373.9	2.1	8.2	0.7	0.6	1.1	2.2	2.9	29.0	473.6
PROMEDIO	118.8	246.5	197.2	275.0	48.7	7.2	1.6	0.8	1.0	5.7	17.0	69.9	415.3
DESV. EST.	180.9	250.9	175.6	437.1	145.4	26.0	3.3	0.2	1.9	4.2	60.4	202.5	441.5
MÁXIMO	853.7	1286.1	641.7	2420.8	855.1	157.8	20.2	1.4	10.9	16.1	368.3	1134.5	2420.8
MÍNIMO	2.3	5.8	0.8	9.5	1.1	0.3	0.3	0.5	0.0	1.1	2.2	3.0	35.2
Nº Datos	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36

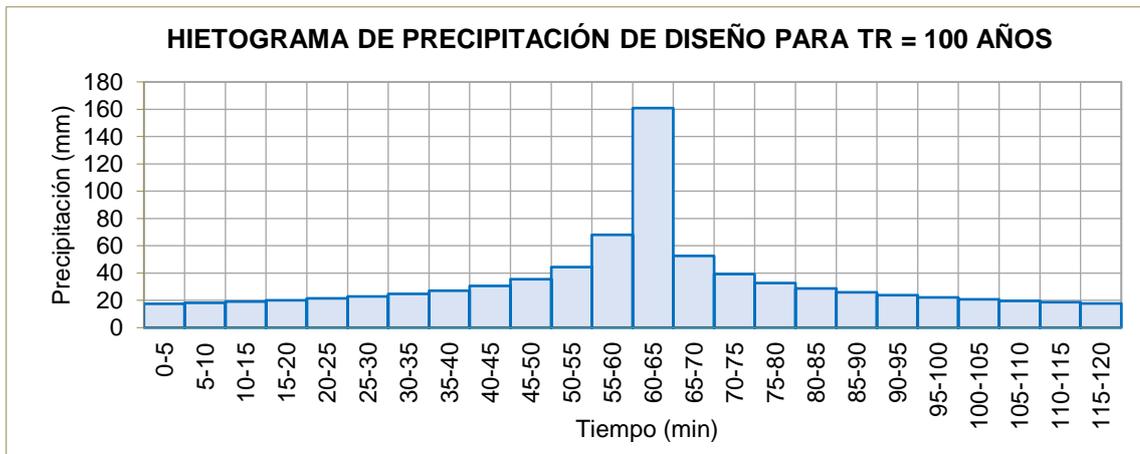
CURVAS IDF - ESTACION CHAUCO



ECUACIÓN IDF – CHAUCO



Hietograma de TR 100 años – Chauco

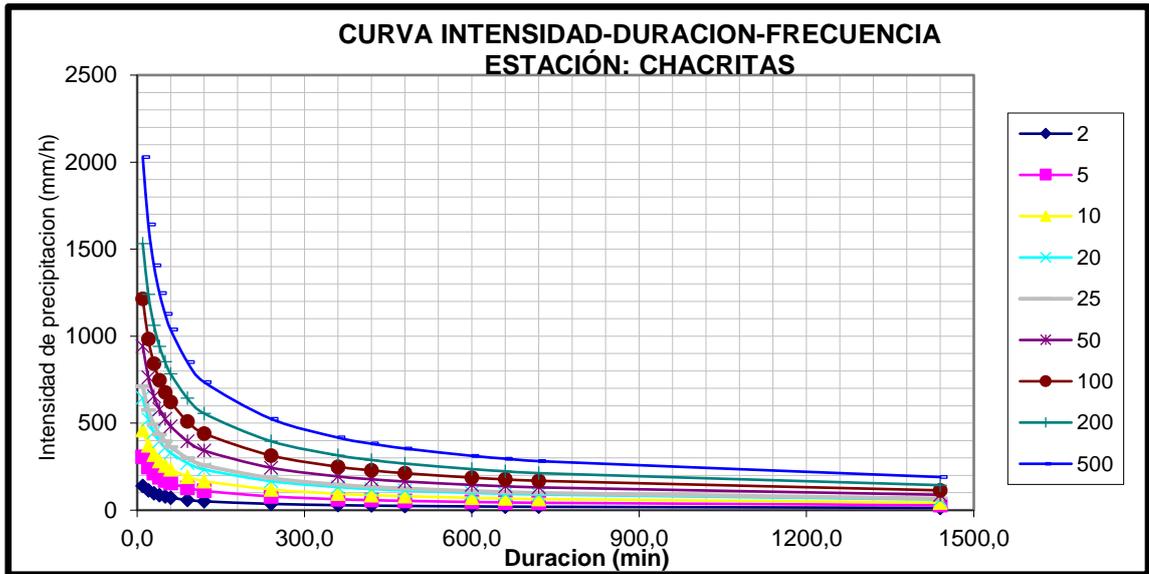


Registro histórico de 24 horas máxima precipitación. Estación Chacritas 80° 24' W, 6° 54' S y 231 msnm – distrito de San Jacinto

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	MÁXIMO
1981	2.3	84.4	133.2	85.7	1.8	1.7	0.8	0.9	0.4	3.5	3.3	7.8	133.2
1982	3.6	5.8	0.8	32.9	1.9	0.5	0.5	0.5	0.9	5.6	20.0	542.8	542.8
1983	853.7	556.6	618.3	2420.8	855.1	157.8	20.2	0.6	4.4	10.3	5.5	25.7	2420.8
1984	4.6	432.1	122.6	25.5	4.6	2.9	0.7	0.7	0.5	3.2	4.2	13.1	432.1
1985	15.9	24.3	53.8	9.5	2.4	1.1	0.5	1.1	0.2	4.3	2.2	14.0	53.8
1986	115.6	71.4	1.8	317.5	3.0	0.3	0.4	0.7	0.3	2.6	8.5	25.8	317.5
1987	259.3	347.1	353.3	184.6	6.0	0.9	2.1	1.2	1.5	2.6	3.7	7.0	353.3
1988	43.5	34.3	6.0	46.6	1.9	0.8	0.8	0.7	0.6	2.2	7.1	12.8	46.6
1989	131.0	315.3	120.3	87.0	2.2	4.1	0.5	0.8	0.4	7.1	2.4	3.0	315.3
1990	14.5	35.2	26.2	28.2	3.6	1.4	0.7	0.7	0.2	4.9	10.6	10.1	35.2
1991	6.9	116.8	76.9	21.7	33.0	1.0	0.4	0.5	0.3	3.7	3.8	19.6	116.8
1992	65.9	333.7	641.7	608.3	201.1	3.5	0.9	1.0	0.9	4.4	11.4	21.5	641.7
1993	23.8	280.5	233.4	300.7	54.6	2.6	1.5	1.4	0.7	10.1	4.1	19.7	300.7
1994	157.2	261.8	92.5	114.3	6.9	0.8	0.8	0.7	0.5	2.5	2.9	55.6	261.8
1995	89.4	113.0	66.8	16.8	13.2	0.6	1.7	1.0	0.4	3.8	13.7	46.9	113.0
1996	62.9	102.8	62.3	30.5	1.4	1.0	0.7	0.8	0.3	4.3	3.4	12.3	102.8
1997	28.9	67.2	156.0	267.5	38.5	12.0	3.0	1.3	10.9	14.9	368.3	1134.5	1134.5
1998	672.3	1286.1	626.2	1131.2	180.7	6.3	1.6	0.6	1.0	15.4	3.2	19.4	1286.1
1999	15.6	289.9	219.6	503.3	38.4	3.6	1.6	1.0	2.0	4.1	3.5	25.2	503.3
2000	13.8	180.6	216.2	270.9	62.3	9.3	0.7	0.8	0.7	1.1	2.4	27.4	270.9
2001	138.8	108.0	354.2	234.8	10.6	1.2	1.0	0.6	0.6	1.7	19.8	27.4	354.2
2002	10.6	382.8	395.5	673.9	4.7	1.0	0.7	0.8	0.3	8.2	4.9	47.3	673.9
2003	99.0	131.5	45.0	45.3	3.3	4.1	1.5	0.7	0.5	2.3	3.1	79.5	131.5
2004	36.4	127.8	65.4	137.5	11.3	0.8	1.1	0.6	1.1	9.8	3.8	11.2	137.5
2005	8.0	23.4	154.8	37.2	1.2	1.9	0.3	0.7	0.2	3.4	7.8	39.4	154.8
2006	103.6	454.6	194.8	35.5	1.1	2.0	1.2	0.9	0.3	1.7	18.5	24.3	454.6
2007	136.5	14.7	173.0	96.3	5.3	0.8	0.5	1.2	0.2	4.6	5.4	16.1	173.0
2008	195.2	643.9	306.7	207.2	10.7	2.7	1.3	0.9	0.4	6.6	7.2	4.0	643.9
2009	419.1	279.4	154.5	70.9	6.2	1.1	0.5	0.9	0.5	1.6	9.2	29.5	419.1

2010	92.9	333.0	219.1	322.6	7.4	1.9	1.4	0.7	0.6	4.4	6.7	24.0	333.0
2011	45.7	116.1	8.0	335.6	3.9	2.2	3.2	0.5	0.4	3.4	8.1	31.7	335.6
2012	171.6	567.3	312.3	469.4	20.1	3.4	0.6	0.5	0.0	3.9	10.9	14.5	567.3
2013	54.2	82.2	218.7	64.5	21.6	1.1	0.9	0.8	0.4	16.1	2.6	12.0	218.7
2014	56.9	81.0	19.5	24.8	56.3	10.4	0.9	0.8	0.6	14.1	3.6	51.0	81.0
2015	37.4	117.6	418.7	266.0	73.4	4.6	1.2	0.6	0.3	10.6	13.6	30.4	418.7
2016	91.6	473.6	231.3	373.9	2.1	8.2	0.7	0.6	1.1	2.2	2.9	29.0	473.6
PROMEDIO	118.8	246.5	197.2	275.0	48.7	7.2	1.6	0.8	1.0	5.7	17.0	69.9	415.3
DESV. EST.	180.9	250.9	175.6	437.1	145.4	26.0	3.3	0.2	1.9	4.2	60.4	202.5	441.5
MÁXIMO	853.7	1286.1	641.7	2420.8	855.1	157.8	20.2	1.4	10.9	16.1	368.3	1134.5	2420.8
MÍNIMO	2.3	5.8	0.8	9.5	1.1	0.3	0.3	0.5	0.0	1.1	2.2	3.0	35.2
Nº Datos	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36

Curvas IDF - Estacion Chacritas



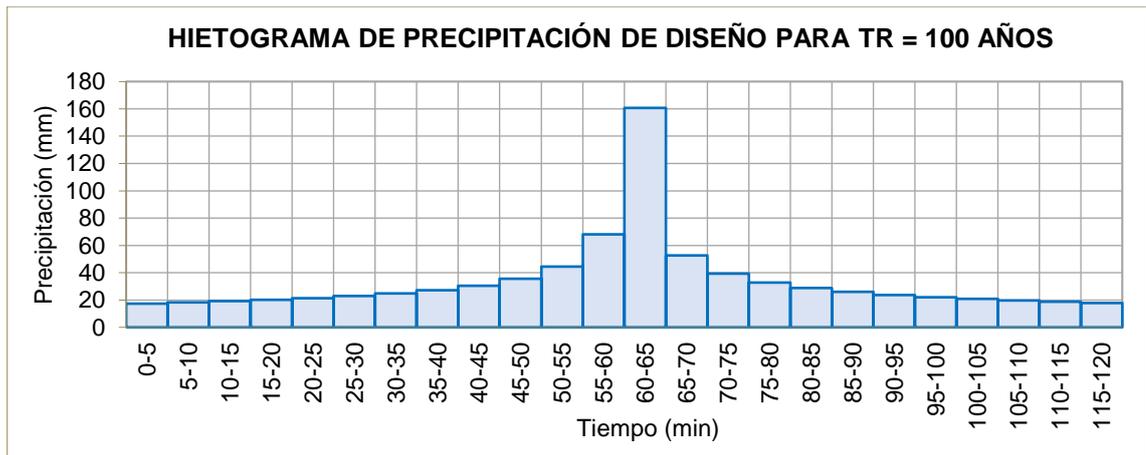
Ecuación IDF – Chacritas

CURVA INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA

$$I = \frac{2.7029 \cdot 10^{0.4626 T}}{t^{0.49}}$$

I: Intensidad máxima (mm/h)
 T: Período de retorno en años
 t: Duración de la precipitación (min)

Hietograma de TR 100 años - Chacritas

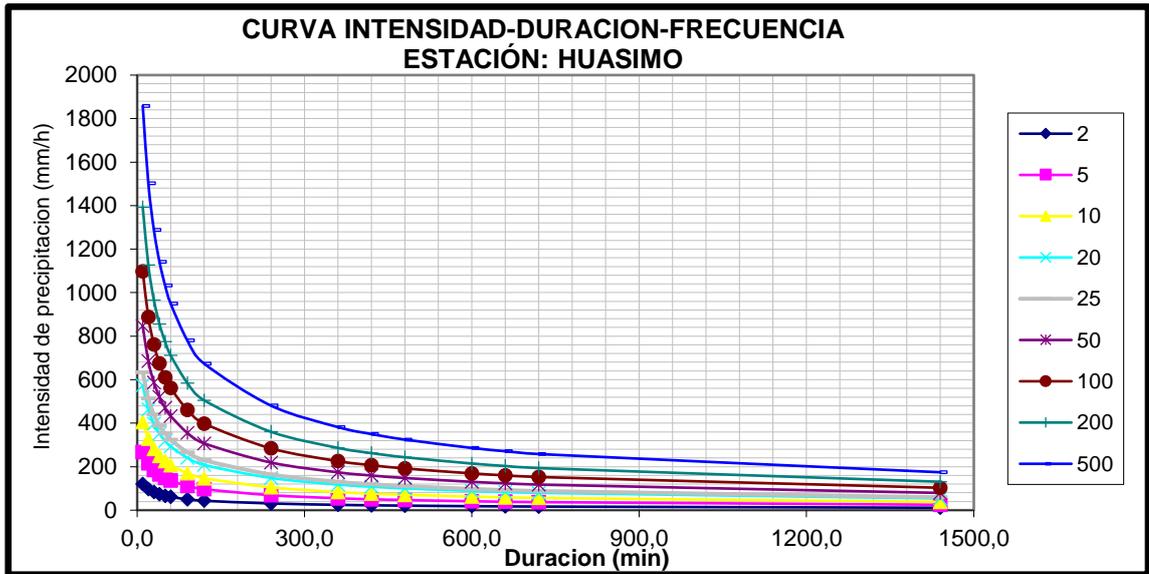


Registro histórico de 24 horas máxima precipitación. Estación Huasimo, 80° 59' W, 3° 53' S y 607 msnm – distrito de San Jacinto

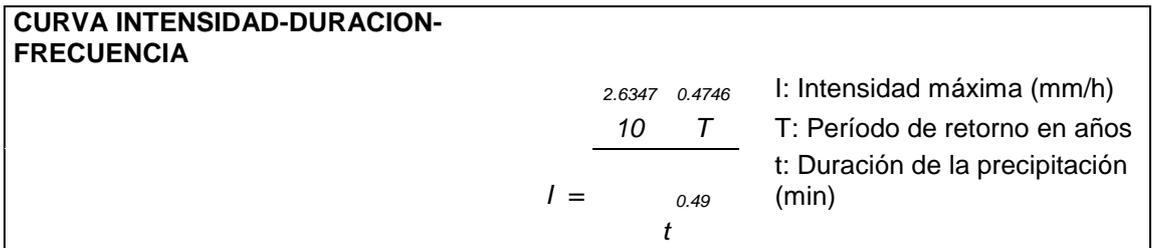
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	MÁXIMO
1981	0.8	73.4	106.2	24.7	0.4	0.9	0.0	0.1	0.3	1.1	0.0	1.4	106.2
1982	2.8	2.9	0.8	16.6	0.4	0.1	0.0	0.2	0.6	1.8	3.7	160.6	160.6
1983	805.5	670.2	814.4	1070.1	555.6	161.1	5.2	0.3	3.1	3.9	0.3	11.8	1070.1
1984	2.0	271.6	176.1	6.2	0.9	1.5	0.0	0.3	0.1	0.9	0.0	3.8	271.6
1985	6.4	20.4	114.5	1.4	1.1	0.5	0.0	0.3	0.2	1.7	0.0	3.1	114.5
1986	81.3	42.2	1.2	94.2	0.6	0.0	0.0	0.3	0.2	1.4	2.1	4.0	94.2
1987	169.3	513.7	511.2	99.2	3.0	0.2	0.6	0.4	1.2	0.9	0.0	1.6	513.7
1988	28.1	23.4	7.4	17.2	1.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.7	1.3	3.4	28.1
1989	99.3	269.8	148.3	26.3	0.5	1.8	0.0	0.3	0.2	1.9	0.1	0.4	269.8
1990	6.5	27.5	32.0	6.3	0.9	0.5	0.0	0.2	0.2	2.4	1.8	4.4	32.0
1991	3.6	81.6	75.6	4.6	5.8	0.3	0.0	0.3	0.1	1.3	0.4	4.2	81.6
1992	50.4	256.0	802.8	295.4	108.2	1.4	0.1	0.3	0.5	1.2	1.1	4.4	802.8
1993	13.2	269.9	238.2	80.1	19.0	2.2	0.3	0.5	0.3	4.2	0.0	3.3	269.9
1994	126.4	238.2	110.2	17.3	3.0	0.0	0.1	0.3	0.2	1.0	0.1	23.9	238.2
1995	19.5	115.2	43.8	13.0	3.6	0.1	0.3	0.3	0.3	1.1	1.6	18.9	115.2
1996	16.2	68.1	75.9	4.2	0.4	0.2	0.0	0.3	0.1	1.0	0.0	3.1	75.9
1997	13.7	48.2	203.4	90.8	21.5	11.9	0.6	0.7	9.9	7.9	56.7	742.5	742.5
1998	857.3	1484.3	833.7	518.2	94.3	8.0	0.6	0.2	1.0	3.3	0.1	4.5	1484.3
1999	20.2	290.2	197.6	179.2	33.5	1.1	0.1	0.3	0.9	1.3	0.0	4.6	290.2
2000	5.4	180.5	196.0	126.7	30.8	4.7	0.0	0.3	0.1	0.5	0.0	11.9	196.0
2001	127.5	108.8	709.1	105.5	3.2	0.2	0.1	0.3	0.2	0.6	3.0	7.3	709.1
2002	10.2	312.6	644.7	294.7	2.3	0.3	0.0	0.8	0.5	2.3	0.2	8.1	644.7
2003	55.3	118.0	29.4	23.1	1.2	1.6	0.1	0.3	0.2	0.4	0.2	16.5	118.0
2004	14.5	112.4	82.3	25.1	3.4	0.0	0.1	0.2	0.3	5.9	0.0	1.4	112.4
2005	3.7	19.2	154.3	9.6	0.1	0.6	0.0	0.3	0.2	0.9	0.9	7.9	154.3
2006	56.1	417.9	189.6	6.6	0.1	0.7	0.3	0.3	0.2	0.6	2.1	6.6	417.9
2007	97.2	8.9	279.5	29.1	0.9	0.2	0.0	0.3	0.2	0.8	0.3	3.1	279.5
2008	185.8	600.6	333.5	35.1	4.6	1.3	0.8	0.3	0.2	3.7	0.6	0.6	600.6
2009	418.2	274.8	298.2	23.1	1.6	1.0	0.0	0.3	0.3	0.6	2.9	8.8	418.2

2010	66.0	294.7	324.1	90.9	2.1	0.5	0.4	0.3	0.2	1.2	0.3	4.9	324.1
2011	18.0	73.0	3.8	109.5	0.7	0.7	5.0	0.3	0.2	1.3	1.0	10.1	109.5
2012	108.2	581.3	541.5	162.9	17.4	1.1	0.2	0.3	0.2	1.3	1.8	3.0	581.3
2013	39.6	53.7	293.1	14.4	12.1	0.1	0.0	0.3	0.1	4.2	0.0	2.8	293.1
2014	33.9	67.7	20.8	6.5	28.6	3.8	0.2	0.4	0.3	5.3	0.0	6.6	67.7
2015	20.0	83.2	534.2	121.3	43.7	2.8	0.4	0.3	0.1	3.8	1.6	14.2	534.2
2016	54.6	279.9	385.0	113.0	0.4	5.4	0.1	0.4	0.3	0.9	0.0	6.7	385.0
PROMEDIO	101.0	232.1	264.2	107.3	28.0	6.0	0.4	0.3	0.7	2.0	2.3	31.2	353.0
DESV. EST.	196.1	279.9	251.4	196.2	93.7	26.7	1.2	0.1	1.7	1.8	9.4	124.7	318.2
MÁXIMO	857.3	1484.3	833.7	1070.1	555.6	161.1	5.2	0.8	9.9	7.9	56.7	742.5	1484.3
MÍNIMO	0.8	2.9	0.8	1.4	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.4	0.0	0.4	28.1
Nº Datos	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36

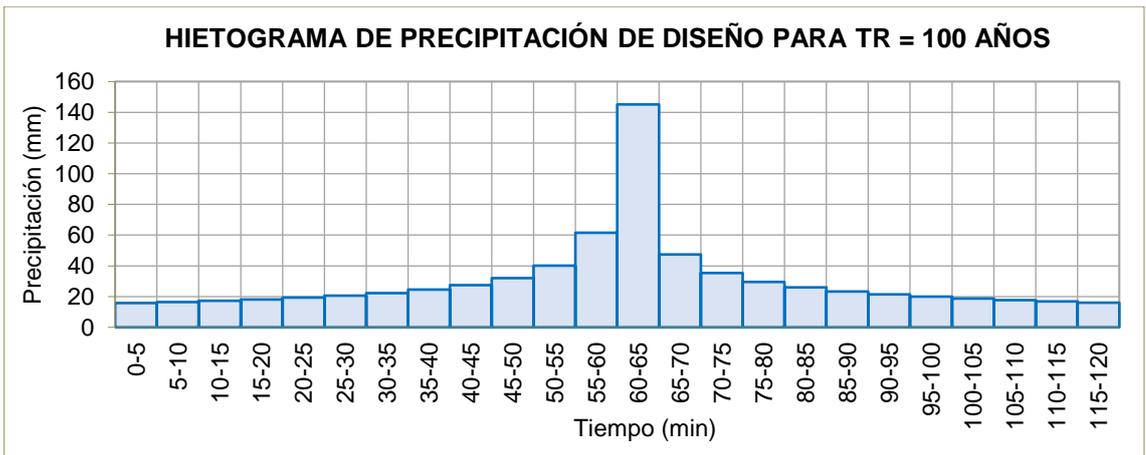
Curvas IDF - Estacion Huasimo



Ecuación IDF – Huasimo



Hietograma de TR 100 años - Huasimo

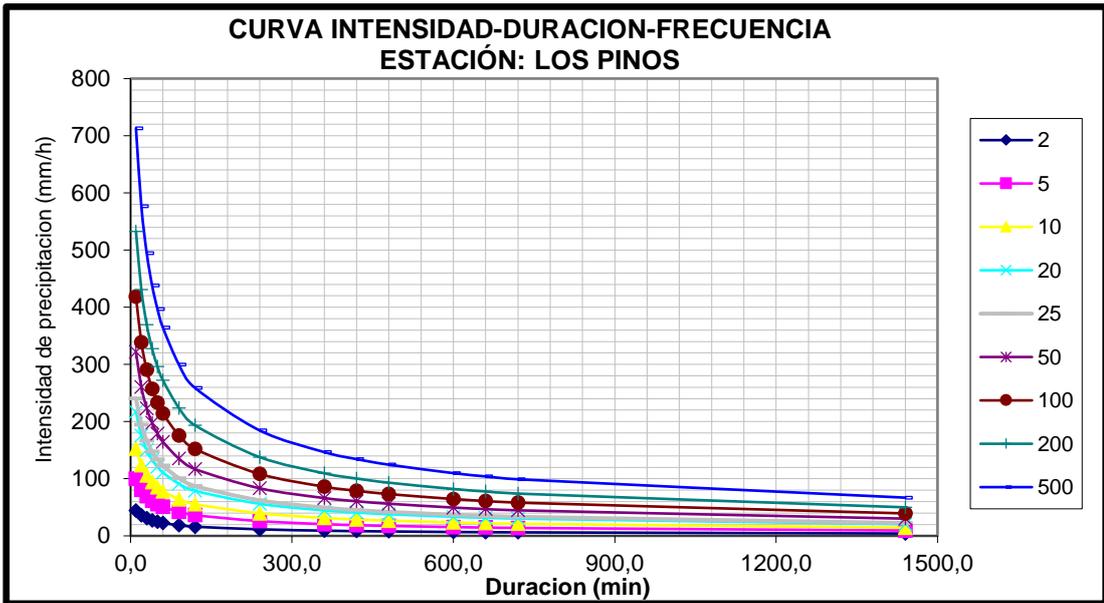


Registro histórico de 24 horas máxima precipitación. Estación Los Pinos 80° 40' W, 3° 76' S y 70 msnm – Pampas de Hospital

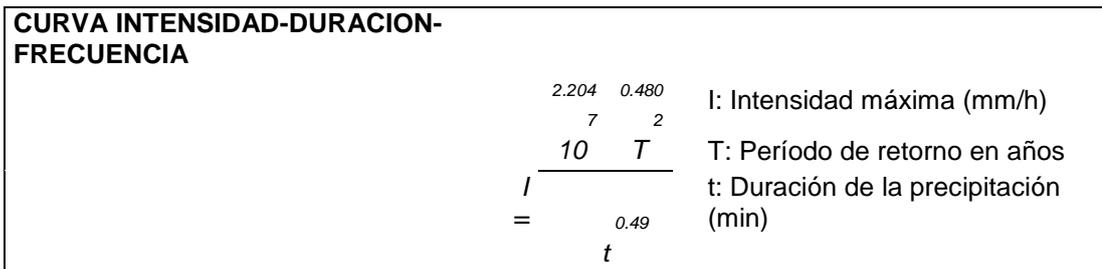
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	MÁXIMO
1981	0.0	36.4	39.1	15.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.1
1982	2.6	0.2	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	30.7	30.7
1983	407.3	228.4	268.6	520.1	258.8	28.9	4.4	0.0	1.1	0.5	0.0	8.6	520.1
1984	0.3	90.4	55.0	2.2	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	90.4
1985	2.7	5.6	53.1	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	53.1
1986	30.3	12.3	0.0	38.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.4	0.1	38.8
1987	84.0	151.8	183.0	39.8	3.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	183.0
1988	14.7	10.2	3.3	11.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.4	14.7
1989	47.4	107.7	62.1	13.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	107.7
1990	3.6	11.1	11.1	2.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.8	1.0	11.1
1991	1.3	26.2	52.2	1.7	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	52.2
1992	26.8	131.4	419.4	178.3	61.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.6	419.4
1993	7.3	108.9	85.3	36.2	8.2	0.7	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.1	108.9
1994	83.0	49.5	40.3	10.9	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	83.0
1995	8.0	40.8	16.8	4.0	2.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.8	7.2	40.8
1996	5.9	15.8	17.8	3.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.8
1997	5.3	14.8	81.7	35.5	10.0	4.4	0.7	0.0	4.8	2.0	45.2	190.7	190.7
1998	397.9	443.8	382.4	242.5	54.8	2.7	0.1	0.0	0.2	0.6	0.0	1.1	443.8
1999	11.5	62.0	91.3	93.6	14.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	93.6
2000	1.1	43.9	51.2	66.8	21.3	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	66.8
2001	54.6	56.8	246.4	45.6	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	1.5	246.4
2002	8.9	114.0	286.0	141.9	0.9	0.0	0.0	0.3	0.0	0.2	0.0	1.8	286.0
2003	21.9	29.7	13.3	18.2	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	29.7
2004	5.1	46.2	27.4	18.1	2.1	0.0	0.1	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	46.2
2005	2.5	6.0	49.7	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.3	49.7
2006	24.3	152.7	54.5	3.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.2	152.7
2007	50.0	1.9	107.2	14.2	0.4	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.2	107.2
2008	99.9	188.3	106.3	8.3	0.5	0.0	0.3	0.0	0.0	0.8	0.1	0.0	188.3
2009	168.7	86.6	57.2	17.8	1.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	2.0	168.7

2010	28.4	92.7	125.4	57.2	0.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	125.4
2011	8.0	36.7	0.6	66.6	0.2	0.0	5.2	0.0	0.0	0.0	0.1	1.8	66.6
2012	53.5	123.8	177.5	65.6	8.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	177.5
2013	18.7	21.8	129.8	6.0	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	129.8
2014	17.8	24.2	7.3	3.8	18.6	0.9	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.7	24.2
2015	8.8	31.2	217.9	76.7	26.8	1.1	0.0	0.0	0.0	0.8	0.7	4.3	217.9
2016	19.7	89.1	165.2	68.6	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	165.2
PROMEDIO	48.1	74.8	102.4	54.0	14.1	1.2	0.3	0.0	0.2	0.3	1.6	7.7	133.0
DESV. EST.	94.0	85.1	107.6	95.9	44.3	4.8	1.1	0.0	0.8	0.5	7.5	31.8	123.2
MÁXIMO	407.3	443.8	419.4	520.1	258.8	28.9	5.2	0.3	4.8	2.0	45.2	190.7	520.1
MÍNIMO	0.0	0.2	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1
Nº Datos	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36

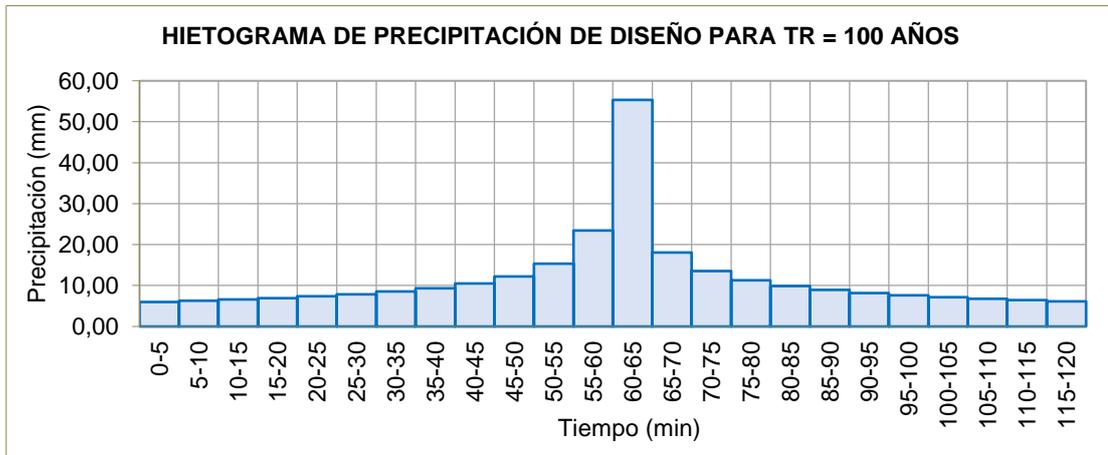
Curvas IDF - Estacion Los Pinos



Ecuación IDF – Los Pinos



Hietograma de TR 100 años - Los Pinos

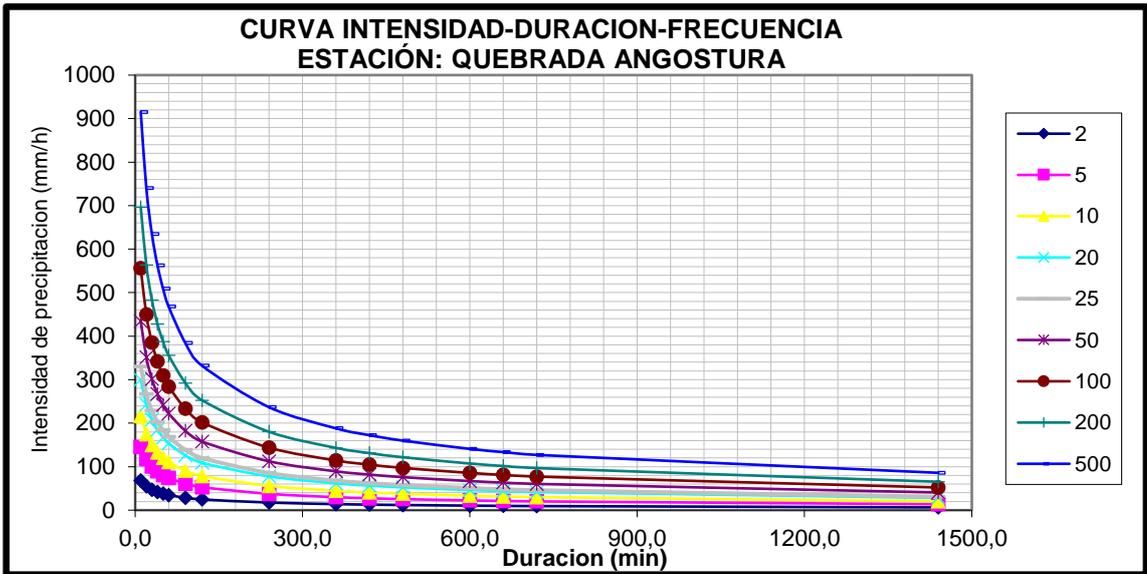


Registro histórico de 24 horas máxima precipitación. Estación Quebrada Angostura 80° 40' W, 3° 76' S y 70 msnm – Distrito de Pampas de Hospital

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	MÁXIMO
1981	0.4	65.5	67.1	14.8	0.4	0.8	0.6	0.0	0.1	0.2	0.6	0.7	67.1
1982	1.1	1.5	0.1	6.9	0.5	0.2	0.3	0.0	0.3	1.0	6.3	88.1	88.1
1983	622.6	447.1	407.5	577.2	576.1	152.0	20.5	0.1	3.9	2.0	1.6	6.2	622.6
1984	0.5	214.7	70.7	1.9	1.7	2.0	0.4	0.1	0.2	0.3	0.7	2.4	214.7
1985	7.1	12.1	76.9	0.6	0.9	0.9	0.4	0.2	0.0	1.1	0.5	1.9	76.9
1986	59.2	27.8	0.1	40.8	1.1	0.2	0.2	0.0	0.1	0.3	4.8	3.9	59.2
1987	121.6	178.3	246.2	37.2	2.0	0.4	1.7	0.9	1.1	0.1	0.4	0.8	246.2
1988	18.2	23.9	5.6	6.6	0.6	0.4	0.6	0.1	0.3	0.1	3.2	3.2	23.9
1989	84.0	258.3	83.3	17.9	0.8	2.6	0.3	0.3	0.1	1.2	0.6	0.0	258.3
1990	7.3	21.9	18.1	3.4	1.5	0.9	0.5	0.1	0.0	1.6	3.8	0.9	21.9
1991	1.5	56.4	52.8	1.7	15.4	0.3	0.2	0.0	0.1	0.7	1.7	5.8	56.4
1992	40.3	189.6	458.9	148.3	131.6	2.0	0.9	0.1	0.5	0.7	5.4	3.2	458.9
1993	13.1	174.1	123.2	36.9	22.4	1.6	1.4	0.6	0.3	5.1	0.9	3.1	174.1
1994	105.2	93.0	61.5	14.0	1.7	0.3	0.7	0.1	0.3	0.5	0.8	14.0	105.2
1995	50.3	56.5	37.5	1.4	11.7	0.2	1.3	0.5	0.0	0.7	9.4	12.5	56.5
1996	28.7	30.5	21.9	8.7	0.4	0.5	0.4	0.2	0.0	1.2	1.5	1.6	30.5
1997	9.5	29.4	86.0	52.9	27.0	9.6	5.8	0.4	12.3	5.0	167.3	421.5	421.5
1998	524.5	743.0	530.9	175.7	97.3	4.4	1.5	0.0	1.1	3.6	0.6	3.2	743.0
1999	9.0	115.6	113.7	114.3	25.9	2.1	1.3	0.2	1.3	0.9	0.9	3.6	115.6
2000	2.7	88.1	99.6	55.7	49.5	4.8	0.4	0.2	0.3	0.0	0.4	3.8	99.6
2001	63.3	53.2	286.0	36.6	6.3	0.5	0.6	0.1	0.3	0.0	5.9	5.1	286.0
2002	9.0	234.7	288.4	105.9	1.5	0.2	0.3	0.3	0.6	1.4	0.9	11.4	288.4
2003	53.2	51.9	28.1	6.6	1.2	1.8	2.0	0.3	0.3	0.1	0.7	19.3	53.2
2004	16.5	82.4	42.2	31.7	6.1	0.3	1.5	0.0	1.3	1.6	0.9	0.7	82.4
2005	3.3	12.1	95.4	6.1	0.3	0.8	0.2	0.3	0.0	1.3	3.6	5.0	95.4
2006	49.1	304.7	120.1	2.9	0.1	0.9	1.1	0.5	0.1	0.3	5.5	4.6	304.7
2007	90.6	5.0	103.7	16.6	1.7	0.2	0.5	1.0	0.2	0.8	2.8	2.6	103.7

2008	142.8	362.0	185.9	20.8	4.4	1.6	0.9	0.1	0.5	1.6	1.9	0.0	362.0
2009	223.5	164.6	63.1	10.7	2.9	0.6	0.3	0.4	1.3	0.3	4.2	4.5	223.5
2010	47.3	177.7	191.9	77.3	3.0	1.4	1.2	0.1	0.3	0.3	2.1	3.5	191.9
2011	24.2	68.0	5.0	62.3	1.4	0.9	4.3	0.1	0.1	0.5	1.9	4.3	68.0
2012	102.2	230.7	169.8	65.3	12.3	4.2	0.4	0.1	0.0	0.6	2.3	1.6	230.7
2013	29.1	43.3	161.8	10.3	8.0	0.9	1.2	0.3	0.1	4.3	0.5	1.8	161.8
2014	43.7	39.6	9.7	3.4	34.8	11.0	0.6	0.4	0.4	5.1	0.4	8.8	43.7
2015	20.1	73.5	293.0	67.3	61.7	3.3	1.5	0.1	0.0	5.1	3.7	7.7	293.0
2016	40.6	271.6	220.8	65.7	0.4	4.4	0.4	0.1	0.3	0.4	0.5	5.3	271.6
PROMEDIO	74.0	139.0	134.1	53.0	31.0	6.1	1.6	0.2	0.8	1.4	6.9	18.5	194.5
DESV. EST.	132.4	151.4	132.6	99.6	97.7	25.1	3.4	0.2	2.1	1.6	27.6	70.6	167.8
MÁXIMO	622.6	743.0	530.9	577.2	576.1	152.0	20.5	1.0	12.3	5.1	167.3	421.5	743.0
MÍNIMO	0.4	1.5	0.1	0.6	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	21.9
Nº Datos	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36

Curvas IDF - Estacion Quebrada Angostura



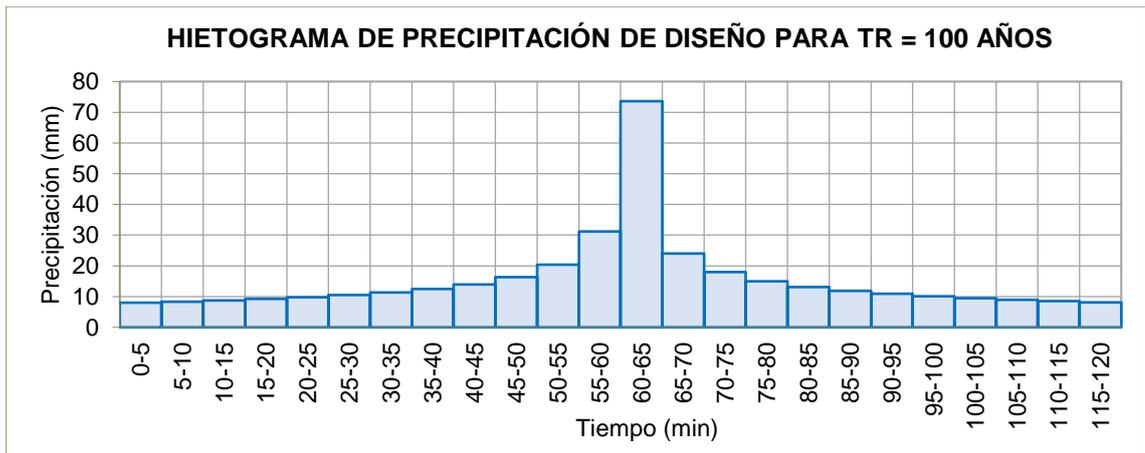
Ecuación IDF – Quebrada Angostura

CURVA INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA

$$I = \frac{2.3894 \cdot 10^{0.4497/T}}{t^{0.49}}$$

I: Intensidad máxima (mm/h)
 T: Período de retorno en años
 t: Duración de la precipitación (min)

Hietograma de TR 100 años - Quebrada Angostura

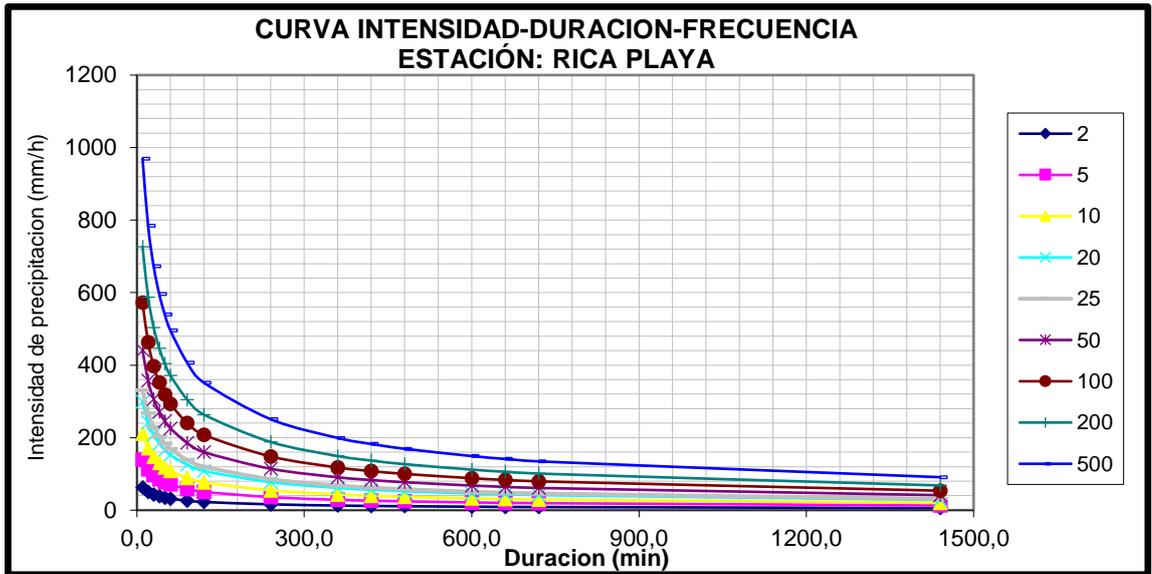


Registro histórico de 24 horas máxima precipitación. Estación Rica Playa 80° 27' W, 3° 47' S y 113 msnm – Pampas del Hospital

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	MÁXIMO
1981	0.0	49.8	59.2	23.2	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.2
1982	1.1	0.8	0.0	14.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.6	48.5	48.5
1983	529.0	358.4	384.1	848.0	493.1	102.3	6.4	0.0	2.1	0.9	0.1	4.0	848.0
1984	0.2	147.8	71.8	2.7	1.2	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	147.8
1985	3.7	9.8	97.0	1.1	0.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.7	97.0
1986	40.7	22.8	0.0	54.2	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.9	54.2
1987	100.7	177.0	241.8	60.3	2.9	0.0	0.5	0.1	0.4	0.0	0.0	0.1	241.8
1988	17.1	15.6	5.6	10.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.2	17.1
1989	60.7	182.8	83.1	24.2	0.3	1.5	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	182.8
1990	5.3	16.3	16.7	4.9	1.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.6	1.1	0.7	16.7
1991	1.0	40.1	50.2	2.4	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	2.0	50.2
1992	33.7	181.2	517.4	242.1	116.7	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	1.3	1.5	517.4
1993	9.1	154.3	120.6	52.5	20.1	1.5	0.3	0.0	0.0	2.6	0.0	0.7	154.3
1994	91.7	90.4	59.8	19.4	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	91.7
1995	17.5	46.9	26.3	3.9	7.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	2.1	8.0	46.9
1996	11.9	21.5	27.2	6.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.6	27.2
1997	7.4	23.1	100.1	61.4	20.4	8.8	1.4	0.0	8.8	2.5	56.1	243.4	243.4
1998	453.8	625.0	474.8	306.9	87.2	5.2	0.4	0.0	0.7	1.2	0.0	1.3	625.0
1999	9.3	89.0	111.8	154.3	28.1	0.8	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	1.1	154.3
2000	1.5	73.9	93.6	95.4	45.3	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	95.4
2001	58.6	48.5	305.5	60.8	4.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	2.7	305.5
2002	8.9	168.9	331.8	189.7	1.9	0.0	0.0	0.2	0.2	0.4	0.0	4.6	331.8
2003	35.0	47.0	23.0	15.6	1.3	1.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	8.9	47.0
2004	8.9	71.7	44.2	28.6	4.2	0.0	0.3	0.0	0.2	1.3	0.0	0.0	71.7
2005	1.8	8.9	82.3	8.2	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.2	1.0	2.3	82.3
2006	36.7	230.4	100.2	4.5	0.1	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	1.6	1.9	230.4
2007	70.0	3.4	129.1	27.2	1.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.6	0.9	129.1
2008	117.1	281.4	168.7	21.6	3.5	0.7	0.4	0.0	0.0	0.9	0.3	0.0	281.4
2009	203.2	133.0	91.8	19.4	2.5	0.7	0.0	0.0	0.3	0.0	2.5	3.0	203.2

2010	46.2	137.4	198.1	103.3	2.2	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	198.1
2011	13.8	49.4	2.3	95.5	0.9	0.3	4.2	0.0	0.0	0.0	0.5	3.1	95.5
2012	79.7	193.4	237.3	110.5	17.7	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.5	237.3
2013	24.4	33.3	168.2	10.2	7.4	0.2	0.1	0.0	0.0	1.4	0.0	0.5	168.2
2014	28.6	36.0	9.9	5.2	30.4	5.2	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	2.5	36.0
2015	13.9	54.3	309.1	116.3	53.1	2.5	0.4	0.0	0.0	2.0	1.3	5.6	309.1
2016	30.0	176.8	222.8	103.4	0.1	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	222.8
PROMEDIO	60.3	111.1	137.9	80.8	27.0	4.0	0.4	0.0	0.4	0.5	2.2	10.3	185.2
DESV. EST.	114.4	123.2	135.0	149.6	83.9	16.9	1.3	0.0	1.5	0.8	9.3	40.8	176.6
MÁXIMO	529.0	625.0	517.4	848.0	493.1	102.3	6.4	0.2	8.8	2.6	56.1	243.4	848.0
MÍNIMO	0.0	0.8	0.0	1.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7
Nº Datos	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36

Curvas IDF - Estacion Quebrada Rica Playa



Ecuación IDF – Rica Playa

CURVA INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA

$$I = \frac{2.351}{4} \frac{0.474}{8} \frac{10}{T} \frac{0.49}{t}$$

I: Intensidad máxima (mm/h)
 T: Período de retorno en años
 t: Duración de la precipitación (min)

Hietograma de TR 100 años - Rica Playa

