

**UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**



**UDH**  
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO  
<http://www.udh.edu.pe>

**TESIS**

---

**“Metodología para calcular hidrogramas de crecidas  
utilizando modelos de lluvia escorrentía con Hyfran y Hec-  
Hms, estudio de caso: cuenca del río Huallaga en el sector  
del puente Corpac, Huánuco - 2024”**

---

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL**

**AUTOR: Fasanando Cabrera, Jenser Aldair**

**ASESORA: Trujillo Ariza, Yelen Lisseth**

**HUÁNUCO - PERÚ**

**2025**



# 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(o) civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

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

### DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 72723019

### DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 70502371

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

Código ORCID: 0000-0002-5652-3745

### DATOS DE LOS JURADOS:

# D

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Davila Herrera, Percy Mello	Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41050949	0000-0001-5484-6982
2	Jara Trujillo, Alberto Carlos	Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41891649	0000-0001-8392-1769
3	Malpartida Valderrama, Yenerit Pamela	Grado de magíster en medio ambiente y desarrollo sostenible mención en gestión ambiental	22516875	0000-0003-2705-4300

# H



**UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO**  
*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 15:00 horas del día **jueves 29 de mayo de 2025**, 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. PERCY MELLO DAVILA HERRERA           | PRESIDENTE |
| ❖ MG. YENERIT PAMELA MALPARTIDA VALDERRAMA | SECRETARIA |
| ❖ MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO         | VOCAL      |

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 0990-2025-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "METODOLOGÍA PARA CALCULAR HIDROGRAMAS DE CRECIDAS UTILIZANDO MODELOS DE LLUVIA ESCORRENTÍA CON HYFRAN Y HEC-HMS. ESTUDIO DE CASO: CUENCA DEL RÍO HUALLAGA EN EL SECTOR DEL PUENTE CORPAC, HUÁNUCO - 2024", presentado por el (la) Bachiller. Bach. Jenser Aldair FASANANDO CABRERA, 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 *7.3* y cualitativo de *Suficiente*. (Art. 47).

Siendo las *16:47* horas del día 29 del mes de mayo del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

MG. PERCY MELLO DAVILA HERRERA  
DNI: 41050949  
ORCID: 0000-0001-5484-6982  
**PRESIDENTE**

MG. YENERIT PAMELA MALPARTIDA VALDERRAMA  
DNI: 22516875  
ORCID: 0000-0003-2705-4300  
**SECRETARIO (A)**

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: JENSER ALDAIR FASANANDO CABRERA, de la investigación titulada "Metodología para calcular hidrogramas de crecidas utilizando modelos de lluvia escorrentía con Hyfran y Hec-Hms. estudio de caso: cuenca del río Huallaga en el sector del puente Corpac, Huánuco - 2024", con asesor(a) YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 2620-2023-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 18 % 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, 02 de abril de 2025



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

# 1. Fasanando Cabrera, Jenser Aldair.docx

## INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	pdfcookie.com Fuente de Internet	2%
2	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	distancia.udh.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	oa.upm.es Fuente de Internet	1%
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.senamhi.gob.pe Fuente de Internet	1%
8	vsip.info 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

A mi madre, por ser la persona que guía mi camino, quien, con su amor incondicional, sacrificio permanente y sabiduría, ha sido el pilar fundamental de mi formación. Esta tesis refleja tu esfuerzo y confianza depositada en mí. Tú eres en gran parte la razón de este logro, porque has sido la fuerza que me impulsa a mejorarme cada día.

A mi padre, por su apoyo, el ejemplo que ha dado, los valores que inculcó y que están en el corazón de este logro.

Para mis hermanas, mis dos mejores amigas, por siempre estar a mi lado en cada etapa de esta carrera y de mi vida.

A mi novia, por su compañía y apoyo durante la realización de este trabajo. Gracias por caminar a mi lado y ser parte de este viaje.

A mis abuelos, por su sabiduría y consejos, por inculcarme que la determinación y la ética son los pilares del verdadero éxito, y que, si deseas algo, debes luchar por ello.

Este logro no es sólo mío, sino también un reflejo del trabajo de aquellos que creyeron en mí y nutrieron mis sueños, y refleja a todos aquellos que celebraron cada victoria como si fuera la suya.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer todas las personas que hicieron posibles la realización de este proyecto:

- A mi familia y ser queridos por su apoyo, comprensión y empuje constante para seguir adelante durante todo este proceso.

- A todas las personas que de una u otra manera aportaron con su granito de arena y todos los consejos y palabras de aliento.

Este trabajo no habría sido posible sin todo ustedes. Estoy profundamente agradecido por su importante contribución.

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	XIII
CAPÍTULO I.....	14
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	14
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	15
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS .....	16
1.3. OBJETIVO .....	16
1.3.1. OBJETIVOS GENERAL.....	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	19
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
CAPÍTULO II.....	22
MARCO TEÓRICO .....	22
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES .....	22
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES .....	25
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES .....	26
2.2. BASES TEÓRICAS.....	27
2.2.1. PARÁMETROS MORFOMÉTRICO.....	27
2.2.2. SUELOS .....	32

2.2.3.	COBERTURA .....	32
2.2.4.	PRECIPITACIÓN.....	32
2.2.5.	FORMACIÓN.....	33
2.2.6.	MAGNITUD DE UN AGUACERO .....	33
2.2.7.	DURACIÓN.....	34
2.2.8.	DISTRIBUCIÓN DE LA LLUVIA .....	35
2.2.9.	PRECIPITACIONES MÁXIMAS CON RELACIÓN AL PERIODO DE RETORNO.....	36
2.2.10.	AJUSTES DE PROBABILIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN – PRUEBA DE BONDAD .....	37
2.2.11.	MÉTODOS DE INFILTRACIÓN.....	38
2.2.12.	MÉTODO SCS.....	38
2.2.13.	HIDROGRAMA UNITARIO .....	39
2.2.14.	HEC-HMS Y HYFRAN .....	40
2.3.	DEFINICIONES CONCEPTUALES .....	42
2.3.1.	CUENCA HIDROGRÁFICA .....	42
2.3.2.	HEC- HMS .....	43
2.3.3.	PRECIPITACIÓN.....	43
2.3.4.	HYFRAN.....	43
2.3.5.	INFILTRACIÓN.....	43
2.3.6.	HIDROGRAMA .....	44
2.4.	HIPÓTESIS GENERAL.....	44
2.5.	VARIABLES.....	44
2.5.1.	VARIABLE DEPENDIENTE.....	44
2.5.2.	VARIABLE INDEPENDIENTE .....	44
2.6.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	45
CAPÍTULO III.....		46
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		46
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	46
3.1.1.	ENFOQUE .....	46
3.1.2.	ALCANCE O NIVEL.....	46
3.1.3.	DISEÑO.....	46
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	47

3.2.1. POBLACIÓN.....	47
3.2.2. MUESTRA .....	47
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	48
3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS .....	48
3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS .....	48
3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	49
CAPÍTULO IV.....	51
RESULTADOS.....	51
4.1. PROPUESTA DE DATOS.....	51
4.2. PROPUESTA DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN.....	74
4.2.1. INFRAESTRUCTURA DE CONTROL DE INUNDACIONES .....	74
4.2.2. MEDIDAS NATURALES Y ECOLÓGICAS .....	74
4.2.3. SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA Y PLANIFICACIÓN.....	75
4.2.4. EDUCACIÓN Y PARTICIPACIÓN COMUNITARIA .....	76
4.2.5. INVESTIGACIÓN Y MONITOREO CONTINUO .....	76
4.3. CONSTATAción Y PRUEBA DE HIPÓTESIS .....	77
CAPÍTULO V.....	80
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	80
CONCLUSIONES .....	85
RECOMENDACIONES.....	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
ANEXOS.....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Descripción del curso del agua .....	31
Tabla 2 Datos de precipitación máxima .....	48
Tabla 3 Datos de precipitación máxima por meses .....	52
Tabla 4 Resultados de Hyfran.....	56
Tabla 5 Periodos de retorno a usar.....	57
Tabla 6 Tabla de comportamiento interno de lluvias.....	58
Tabla 7 Para un tiempo de 3 horas .....	59
Tabla 8 Distribución acumulada de lluvia.....	61
Tabla 9 Distribución incrementada de lluvia .....	65
Tabla 10 Relación del caudal por Tr .....	78
Tabla 11 Precipitaciones máximas por mes .....	80
Tabla 12 Precipitaciones en San Rafael .....	81
Tabla 13 Precipitación de 24 a 3 horas.....	82
Tabla 14 Precipitaciones de 24 horas.....	83
Tabla 15 Caudal.....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Parte de una Ilustración 1 cuenca de drenaje.....	28
Figura 2	Velocidades para estimar el tiempo de concentración.....	31
Figura 3	Método del número de curva para estimar el tiempo LAG.....	32
Figura 4	SCS hidrogramas .....	35
Figura 5	Relación de escurrimiento, precipitación y retención .....	38
Figura 6	Hidrograma unitario .....	39
Figura 7	Hidrograma US soil conservation service .....	40
Figura 8	Hec - HMS manual.....	42
Figura 9	Estación cercana .....	51
Figura 10	Distribución normal HidroEsta .....	53
Figura 11	Distribución Lognormal HidroEsta .....	53
Figura 12	Distribución Gumbel HidroEsta.....	54
Figura 13	Ingreso de datos .....	55
Figura 14	Base estadística.....	55
Figura 15	Gráfica de tendencia.....	57
Figura 16	Tendencia del porcentaje de lluvia .....	58
Figura 17	Relación gráfica entre las 24h y 3h P <sub>máx</sub> .....	60
Figura 18	Dispersión Tr=2 años.....	62
Figura 19	Dispersión Tr=5 años.....	62
Figura 20	Dispersión Tr=10 años.....	63
Figura 21	Dispersión Tr=25 años.....	63
Figura 22	Dispersión Tr=50 años.....	64
Figura 23	Dispersión Tr=100 años.....	64
Figura 24	Dispersión Tr=500 años.....	65
Figura 25	Distribución Incrementada 2 años .....	66
Figura 26	Distribución Incrementada 5 años .....	67
Figura 27	Distribución Incrementada 10 años .....	67
Figura 28	Distribución Incrementada 25 años .....	68
Figura 29	Distribución Incrementada 50 años .....	68
Figura 30	Distribución Incrementada 100 años.....	69
Figura 31	Distribución Incrementada 500 años.....	69
Figura 32	Caudal para un Tr: 2 años .....	70

Figura 33 Caudal para un Tr: 5 años .....	70
Figura 34 Caudal para un Tr: 10 años .....	71
Figura 35 Caudal para un Tr: 25 años .....	71
Figura 36 Caudal para un Tr: 50 años .....	72
Figura 37 Caudal para un Tr: 100 años .....	72
Figura 38 Caudal para un Tr: 500 años .....	73
Figura 39 Caudal total para cada periodo .....	73
Figura 40 Hidrograma de caudales.....	79
Figura 41 Imagen Satelital .....	94
Figura 42 Estación Tingo María .....	94
Figura 43 Periodo 2022-01 .....	95
Figura 44 Periodo 2022-02 .....	95
Figura 45 Periodo 2022-03 .....	96
Figura 46 Periodo 2022-04 .....	96
Figura 47 Periodo 2022-05 .....	97
Figura 48 Periodo 2022-06 .....	97
Figura 49 Periodo 2022-07 .....	98
Figura 50 Periodo 2022-08 .....	98
Figura 51 Periodo 2022-09 .....	99
Figura 52 Periodo 2022-10 .....	99
Figura 53 Periodo 2022-11 .....	100
Figura 54 Periodo 2022-12 .....	100
Figura 55 Periodo 2023-01 .....	101
Figura 56 Periodo 2023-02 .....	101
Figura 57 Periodo 2023-03 .....	102
Figura 58 Periodo 2023-04 .....	102
Figura 59 Periodo 2023-05 .....	103
Figura 60 Periodo 2023-06 .....	103
Figura 61 Periodo 2023-07 .....	104
Figura 62 Periodo 2023-08 .....	104
Figura 63 Periodo 2023-09 .....	105
Figura 64 Periodo 2023-10 .....	105
Figura 65 Periodo 2023-11 .....	106
Figura 66 Periodo 2023-12 .....	106

Figura 67	Periodo 2024-01 .....	107
Figura 68	Distribución normal .....	107
Figura 69	Distribución log- normal 2 parámetros .....	108
Figura 70	Ventana de descripción .....	108
Figura 71	Ventana de datos.....	109
Figura 72	Prueba de independencia de los datos.....	109
Figura 73	Ventana de prueba de tendencia.....	110
Figura 74	Ventana de prueba de independencia .....	110

## RESUMEN

En la actualidad, el desarrollo de modelos hidrológicos se considera esencial para prever el comportamiento de las cuencas y estimar hidrogramas para diversos periodos de retorno., por ende esta investigación tiene como objetivo principal determinar el comportamiento de los hidrogramas de crecidas aplicando modelos de lluvia-escorrentía utilizando los softwares Hyfran y Hec-HMS, aprovechando la información hidrometeorológica disponible en la cuenca del río Huallaga en el sector del puente Corpac, en la ciudad de Tingo María, se eligió dicho lugar por la cercanía que se tiene a la estación Tingo María, siendo esa estación una estación hidrometeorológica, para el desarrollo de esta investigación se procedió a ingresar al Senamhi y descargar los datos de precipitación que se tiene actualmente de los años 2022-2023 de enero a diciembre y de enero del año 2024 para así completar con 25 datos, una vez descargada los datos y seleccionar la precipitación máxima por mes se procedió a ingresar esos datos al HidroEsta, para que dicho programa nos de la distribución a elegir para ingresar el Hyfran, la distribución seleccionada fue de Log normal dado que tuvo un delta teórico de 0.0911 siendo el menor que las demás distribuciones. Luego se ingresaron los datos de precipitación máxima por mes en el Hyfran y se procedió a distribuirlo mediante el Log normal obteniendo así la precipitación máxima en 24 horas para cada periodo de retorno, pero se tiene que tener en cuenta que se puede generar precipitaciones de aguaceros por ende se fraccionó en 3 horas y así nos dio 33.67, 49.53, 60.61, 75.15, 86.36, 97.85, 126.01, para un periodo de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente. Luego se procedió a usar el programa Hec-Hms para el cálculo de los caudales dando como resultado: para 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 años un caudal de 37.89 m<sup>3</sup>/s, 60.74 m<sup>3</sup>/s, 80.49 m<sup>3</sup>/s, 110.73 m<sup>3</sup>/s, 124.87 m<sup>3</sup>/s, 141.91 m<sup>3</sup>/s y 190.10 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

**Palabras clave:** Hyfran, Hec-Hms, Log normal, Periodo de retorno, Lluvia-escorrentía

## ABSTRACT

Currently, the creation of hydrological models is a necessary procedure in the estimation of behavior in basins and calculations of hydrographs, which, at different return periods, therefore this research has as its main objective to determine the behavior of flood hydrographs by applying models of rain-runoff using the Hyfran and Hec-HMS software, taking advantage of the hydrometeorological information available in the Huallaga River basin in the Corpac bridge sector, in the city of Tingo Maria, said place was chosen due to its proximity to the Tingo Maria station, this station being a hydrometeorological station, for the development of this research, we proceeded to enter the Senamhi and download the precipitation data that is currently available for the years 2022-2023 from January to December and from January 2024. In order to complete with 25 data, once the data was downloaded and the maximum precipitation per month was selected, we proceeded to enter those data into HidroEsta, so that said program would give us the distribution to choose from to enter the Hyfran, the selected distribution was Log Normal given that it had a theoretical delta of 0.0911, being the lowest than the other distributions. Then, the maximum precipitation data per month was entered into Hyfran and we proceeded to distribute it using the normal Log, thus obtaining the maximum precipitation in 24 hours for each return period, but it must be taken into account that rainfall from downpours can be generated. Therefore, it was divided into 3 hours and thus gave us 33.67, 49.53, 60.61, 75.15, 86.36, 97.85, 126.01, for a return period of 2, 5, 10, 25, 50, 100 and 500 years respectively. Then the Hec-Hms program was used to calculate the flows, resulting in: for 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 years a flow of 37.89 m<sup>3</sup>/s, 60.74 m<sup>3</sup>/s, 80.49 m<sup>3</sup>/s, 110.73 m<sup>3</sup>/s, 124.87 m<sup>3</sup>/s, 141.91 m<sup>3</sup>/s and 190.10 m<sup>3</sup>/s respectively.

Keywords: Hyfran, Hec-Hms, Log normal, Return period, Rainfall–runoff

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se llevan a cabo modelos hídricos para comprender el comportamiento de las cuencas y calcular los hidrogramas correspondientes a diferentes períodos de retorno. Estos modelos se basan en la recopilación de datos sobre la magnitud de la precipitación, las variaciones temporales en la precipitación, el cálculo de pérdidas, entre otros aspectos. Sin embargo, obtener estos recursos representa un desafío debido a los costos elevados asociados con su adquisición. Por ello, surge la necesidad de proponer una metodología que permita estimar Hidrogramas de creciente con distintos intervalos de retorno, empleando softwares comerciales disponibles y aprovechando la información hidrometeorológica existente.

Este enfoque busca proporcionar soluciones utilizando herramientas computacionales de bajo costo, lo que podría resolver problemas en diversos estudios hidrológicos. Esta propuesta busca generar una simulación de la relación entre la lluvia y el escurrimiento que brinde datos de manera continua y prácticamente invertir dinero. También, esta metodología reduciría la carga de trabajo al eliminar la necesidad de realizar cálculos y procedimientos repetitivos, permitiendo que los programas realicen estas tareas de manera más eficiente y sin requerir una inversión considerable de tiempo y recursos por parte del usuario.

Este trabajo cuenta con 5 capítulos siendo el capítulo 1 la formulación del problema y objetivos, el capítulo 2 todo el marco teórico y los antecedentes necesarios para esta investigación, en el capítulo 3 se muestra el marco metodológico, el capítulo 4 donde se encuentra todo el procesamiento de los datos y aplicación de los programas usados, en el capítulo 5 se lleva a cabo la discusión de los resultados obtenidos en el capítulo previo y comparados con los antecedentes del capítulo 2, finalmente se concluye con las conclusiones y recomendaciones, anexos.

# CAPÍTULO I

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En un análisis hidrológico, las variables involucradas suelen requerir una gran cantidad de cálculos, lo que puede convertir el proceso en algo complejo. Esto no se limita únicamente a las variaciones temporales de la precipitación, sino que también abarca aspectos abstractos relacionados con el comportamiento hidrológico y el flujo de agua. Esto hace que el uso de Modelos Digitales de Cuencas en el campo de la Ingeniería Hidrológica sea más crítico. Estos modelos se utilizan para el análisis y diseño con el objetivo de reproducir la conversión de la precipitación en escorrentía, y cualquier otro tipo de proceso que necesite ser modelado (INDECI, 2018).

Como en el caso de lluvia-escorrentía, para aplicar un modelo, es necesario obtener datos de precipitación de la cuenca. El objetivo es derivar la precipitación neta o efectiva a partir de estos valores. Posteriormente, esta precipitación efectiva se transforma en escurrimiento o caudal. El proceso de esta transformación puede llevarse a cabo utilizando varios métodos, ya sea a través de hidrogramas o mediante la aplicación de modelos de depósito. Estos últimos no son más que la representación de la evolución de un hidrograma a medida que fluye a lo largo de un cauce. Estos modelos permiten predecir aspectos como el volumen, la velocidad y la forma del flujo en función del tiempo, en uno o más puntos a lo largo del curso de agua o canal.

Con base en la información proporcionada por la Defensoría de los Derechos Humanos, este estudio se alinea con la Política y Estrategia Nacional del Agua, la cual reconoce la significativa importancia socio-cultural, económica y ambiental de los recursos hídricos naturales. Esta estrategia promueve una gestión integral y decisiones participativas mediante el enfoque de hidrología de cuenca. En concordancia con la Ley de Recursos Hídricos, Ley N°29338, se prevé la instauración de Consejos de Cuencas Hidrográficas, donde nuestra institución académica deberá jugar un rol activo. Por

consiguiente, resalta la necesidad de comprender nuestra situación actual respecto a los recursos hídricos, especialmente en áreas con escasos registros directos de fenómenos meteorológicos como precipitaciones y caudales generados por las cuencas. (Ortiz, 2016)

La problemática de esta investigación se centra en la necesidad de aplicar de manera efectiva los procesos de investigación a fin de estimar hidrogramas de crecidas en cuencas fluviales. Para ello, se aplicaron los modelos de lluvia-escorrentía que brindan los softwares HYFRAN y HEC-HMS. El reto radica en la complejidad de determinar con precisión el comportamiento de las crecidas en una cuenca dada, lo cual es crucial para la gestión de recursos hídricos, la planificación de infraestructuras y la mitigación de riesgos de inundación. Esta problemática surge debido a la variabilidad climática, la falta de datos precisos en algunas regiones y la necesidad de contar con herramientas confiables para abordar situaciones de crecidas fluviales en el contexto del cambio climático.

La cuenca del río Huallaga, especialmente en el sector del Puente Corpac, es una zona de alta vulnerabilidad debido a su topografía y los patrones de precipitación intensos y variables. Las crecidas del río pueden causar daños significativos, y la falta de modelos predictivos precisos impide una gestión eficaz del riesgo y la planificación de medidas preventivas.

Este estudio tiene como finalidad proporcionar herramientas precisas y fiables que faciliten la gestión del riesgo y la mitigación de los impactos de las inundaciones, contribuyendo así al bienestar y la seguridad de la población en Huánuco.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es el comportamiento de los hidrogramas de crecidas en la cuenca de río Huallaga en el sector del puente Corpac, utilizando los modelos de lluvia-escorrentías mediante el uso de los programas HYFRAN Y HEC-HMS, aprovechando la información hidrometeorológica disponible en la cuenca del río Huallaga?

## **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

¿Cuál es el procedimiento adecuado de datos para generar los hidrogramas de crecidas con el uso de los programas Hec-HMS y Hyfran?

¿Cómo se presentar los resultados y los resúmenes de las tabulaciones realizadas por cada uno de los métodos de estimación de hidrogramas en el proyecto en la cuenca del río Huallaga en la ciudad de Tingo María?

¿Puede proporcionar una ilustración práctica de la aplicación de la modelación de hidrogramas en el contexto de la cuenca del río Huallaga en la cuenca del Huallaga en la ciudad de Tingo María y proponer medidas de mitigación?

## **1.3. OBJETIVO**

### **1.3.1. OBJETIVOS GENERAL**

Determinar el comportamiento de los hidrogramas de crecidas aplicando modelos de lluvia-escorrentía utilizando los softwares Hyfran y Hec-HMS, aprovechando la información hidrometeorológica disponible en la cuenca del río Huallaga en el sector del puente Corpac, en la ciudad de Tingo María.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Identificar el procedimiento de utilización de los softwares Hec-HMS y Hyfran para la generación de los hidrogramas en la cuenca del río Huallaga en la ciudad de Tingo María.

Representar gráficamente los análisis y resumir las tabulaciones efectuadas en cada uno de los métodos de estimación de hidrogramas en el proyecto en la cuenca del río Huallaga en la ciudad de Tingo María.

Realizar una breve ilustración práctica de la aplicación de la modelación de hidrogramas en el contexto de la cuenca del río Huallaga en la ciudad de Tingo María y proponer medidas de mitigación.

## 1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

### JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Al desarrollar aplicación de modelos de lluvia-escorrentía para calcular hidrogramas de creciente relacionados con distintos intervalos de recurrencia mediante la utilización de programas informáticos gratuitos como Hyfran y Hec-HMS, y la utilización de datos hidrometeorológicos accesibles, es fundamental por varias razones:

**Recursos optimizados:** El acceso a software gratuito y a datos hidrometeorológicos disponibles permite a las instituciones y profesionales en hidrología realizar análisis y estudios de inundaciones de manera más económica, evitando la necesidad de adquirir costosas licencias de software y realizar costosas mediciones de campo.

Uso de software como Hyfran y Hec-HMS permite modelar la hidrología con mayor precisión y asegurar que los hidrogramas de crecida puedan ser calculados más rápidamente y con mayor exactitud. Esto proporciona una mayor confianza en los resultados obtenidos, con el apoyo de modelos hidrológicos de vanguardia.

**Capacidades de respuesta ante eventos extremos:** La evidente necesidad de modelar hidrogramas en ascenso con distintos períodos de retorno modelados, para prepararse y responder eficientemente a los estados de eventos climáticos extremos (por ejemplo, lluvias torrenciales o tormentas). Esto puede ayudar a mitigar los efectos adversos de las inundaciones.

**Gestión sostenible:** La planificación adecuada en la gestión de los recursos hídricos y la reducción del riesgo de inundaciones es un factor importante para el desarrollo regional sostenible y para la protección del medio ambiente.

La implementación de modelos de precipitación-escorrentía que hacen uso de software de código abierto e información hidrometeorológica disponible es, por lo tanto, un paso fundamental que llevará a expertos e instituciones a desarrollar la capacidad para

responder a eventos de inundación, gestionar riesgos con más información geográfica y promover planes de uso del suelo que contribuyan a la resiliencia urbana y al desarrollo sostenible de las comunidades.

## **JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

La justificación para el uso de herramientas computacionales numéricas gratuitas, como Hyfran y Hec-HMS, además de la información hidrometeorológica disponible para calcular hidrogramas crecientes correspondientes a varios periodos de retorno, se basa en varios aspectos fundamentales, por ejemplo:

La gestión de recursos hídricos es crucial para prevenir inundaciones y sequías y asegurar la disponibilidad continua de agua para fines domésticos, agrícolas y de generación de energía. La evaluación de hidrogramas crecientes que cubran todos los intervalos de retorno es fundamental para gestionar y planificar estas actividades de manera efectiva.

**Acceso a herramientas gratuitas:** la aplicación de herramientas computacionales gratuitas como Hyfran y Hec-HMS proporciona un acceso más extenso y rentable a capacidades avanzadas de modelado hidrológico. Esto tiene una relevancia particular en regiones o países donde el financiamiento para invertir en muchos softwares comerciales costosos es limitado.

## **JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA**

La justificación metodológica de desarrollar aplicación de modelos de lluvia-escorrentía para calcular los hidrogramas de creciente relacionados con varios períodos de retorno empleando herramientas computacionales sin coste como Hyfran y Hec-HMS, en conjunto con la información hidro-meteorológica que se encuentra apta para la metodología propuesta tiene un valor significativo en términos de eficiencia, precisión y aplicabilidad en la gestión de recursos hídricos y la mitigación de riesgos de inundación. Su desarrollo se justifica tanto

por la necesidad de aprovechar herramientas gratuitas como por la importancia de optimizar el uso de datos hidrometeorológicos disponibles para abordar problemas relacionados con el agua y el clima.

## 1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

**Las limitaciones de la investigación pueden incluir:**

**Disponibilidad de Datos:** La disponibilidad y calidad de la información hidrometeorológica, incluidos los datos de precipitación y flujo, puede ser limitada para algunas regiones o cuencas, lo que puede influir en la precisión de los resultados.

**Precisión del Modelo:** Los modelos de hidrología utilizados en Hyfran y Hec-HMS dependen significativamente de la calidad de los datos de entrada y de la representación correcta de la cuenca. Definir incorrectamente los parámetros y las características de la cuenca puede llevar a incertidumbres en los resultados.

**Requerimientos de Hardware y Software:** Hyfran y Hec-HMS tiene sus propias limitaciones relacionadas con el conjunto necesario de datos de entrada y los requisitos de hardware y software. Esto puede restringir su aplicabilidad en entornos con recursos limitados.

**Calibración y Validación:** La calibración de modelos hidrológicos es un paso esencial para asegurar que los resultados sean precisos. Sin embargo, la metodología tiene limitaciones debido a la falta de datos de calibración y validación.

**Supuestos del Modelo:** Los modelos hidrológicos se basan comúnmente en supuestos de condiciones simplificadas del entorno de la cuenca e hidrometeorológico. Estos supuestos pueden imponer restricciones en la modelización de escenarios de la vida real.

**Variabilidad Climática:** La variabilidad climática y los cambios en los regímenes de precipitación y flujo pueden desafiar la predicción futura de hidrogramas de inundación.

**Experiencia y Capacitación:** Estas herramientas deben utilizarse de manera efectiva, lo que requiere experiencia y capacitación. La metodología puede estar limitada en su aplicación debido a la falta de personal capacitado.

**Escala de Estudio:** No todos los modelos de lluvia-escorrentía pueden aplicarse a todas las escalas de estudio, y su aplicabilidad varía según el tamaño y la complejidad de la cuenca.

**Actualización de Datos:** La disponibilidad de datos hidrometeorológicos actualizados es fundamental. La falta de datos actualizados puede limitar la aplicabilidad de la metodología a largo plazo.

**Limitaciones Geográficas:** La aplicación de modelos de lluvia-escorrentía puede estar diseñada para funcionar mejor en ciertas regiones geográficas y puede no ser igualmente aplicable en todas las áreas.

Por lo tanto, al aplicar esta metodología, es necesario ser muy cauteloso acerca de estas limitaciones y considerar las condiciones específicas de la cuenca y los recursos disponibles.

## **1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

### **VIABILIDAD OPERATIVA**

El uso de modelos de escorrentía pluvial es crítico para evaluar si los hidrogramas de inundación pueden ser calculados con precisión utilizando estas herramientas y la información actualmente disponible. Esto nos permitirá comprender los desafíos potenciales y asegurarnos de que el proceso sea tanto eficiente como preciso.

### **VIABILIDAD TÉCNICA**

Los modelos de escorrentía pluvial para el cálculo de hidrogramas de inundación como Hyfran y Hec-HMS dependen de la disponibilidad de recursos técnicos, datos hidrometeorológicos, capacitación, así como del mantenimiento y actualización de la metodología con el tiempo.

## **VIABILIDAD ECONÓMICA-SOCIAL**

Los modelos de lluvia-escorrentía para el cálculo de hidrogramas de creciente asociados a diferentes periodos de retorno con base en herramientas computacionales gratuitas, Hyfran y Hec-HMS, y en información hidrometeorológica disponible se refiere a la evaluación de si esta metodología es factible y beneficiosa desde un punto de vista tanto económico como social. A continuación, se detallan los aspectos clave relacionados con esta viabilidad:

### **VIABILIDAD ECONÓMICA**

**Costos de Implementación:** Evaluar los costos asociados a la implementación de la aplicación de modelos de lluvia-escorrentía, incluyendo la adquisición o instalación de las herramientas informáticas necesarias (Hyfran y Hec-HMS), capacitación del personal y otros gastos relacionados. Que serán propios del tesista y que los programas son gratuitos solo la capacitación.

### **VIABILIDAD SOCIAL**

**Impacto en la Comunidad:** Evaluar cómo la aplicación de modelos de lluvia-escorrentía puede beneficiar a la comunidad local y a la sociedad en general al mejorar la gestión hídrica y reducir los riesgos de inundación. Beneficiando así a los estudiantes que usen esta investigación como base teórica o metodológica.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

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

##### **2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

Para Flores (2018) En su tesis titulada Generación de hidrogramas del estudio propone una metodología para evaluar la seguridad hidrológica de las presas utilizando simulación estocástica multivariada de lluvia y modelación hidrológica distribuida, adoptando un enfoque probabilístico. Se establece un entorno de simulación de Monte Carlo que fusiona diversos modelos para simular todos los procesos relacionados con la generación y manejo de avenidas. También se han creado varios procedimientos intermedios para conectar estos modelos, formando así una cadena de simulación integral. Finalmente, se han elaborado varios métodos para analizar los resultados y la incertidumbre relacionada con ellos. En la generación de las avenidas, se destacan principalmente dos procesos: la creación de eventos de tormenta y su conversión en escorrentía. Para simular estos procesos, se ha integrado un modelo estocástico de lluvia llamado RainSim V3 con un modelo lluvia-escorrentía distribuido, basado en principios físicos, denominado RIBS. El modelo RainSim V3 posibilita la simulación espacio-temporal de series continuas de lluvia, de longitud variable y con un intervalo de tiempo ajustable, replicando así el comportamiento extremo meteorológico de la cuenca. La implementación del modelo RIBS proporciona la capacidad de evaluar la respuesta hidrológica de la cuenca frente a eventos de tormenta. Este modelo considera la variabilidad inherente de los procesos relacionados con la generación y el flujo de la escorrentía en la cuenca, mediante un proceso de calibración probabilística. Los dos modelos se conectan mediante un proceso que identifica los eventos de lluvia en las series continuas y selecciona las tormentas más severas para evaluar la seguridad hidrológica. Este enfoque establece el nivel de apertura de las compuertas con el fin de proteger la estructura física de la presa. La

utilización del modelo de gestión de avenidas en las series sintéticas de hidrogramas que ingresan al embalse produce la evolución del volumen y el nivel del agua en el embalse, así como los hidrogramas que salen de él.

Para Albuja (2018), En su investigación titulada “Sensibilidad del frm a la microfísica y la capa límite planetaria a escala de microcuenca: el caso de la cuenca de quinuas en los andes tropicales del Ecuador”, se puso un fuerte énfasis en la necesidad de comprender los procesos que tienen lugar en los ecosistemas de alta montaña, ya que esto desempeña un papel fundamental en la toma de decisiones relacionadas con el desarrollo y la conservación de estos entornos. El estudio se centró en el desarrollo y la evaluación de cinco modelos conceptuales que representan el proceso de conversión de lluvia en escorrentía en una microcuenca de alta montaña ubicada en la región sur de Ecuador, caracterizada por su ecosistema de páramo húmedo. En estos modelos conceptuales, se consideran hasta tres reservorios interconectados, ya sea dispuestos en serie o en paralelo, para representar la dinámica de la hidrología de los suelos. Para evaluar la efectividad de estos modelos, se aplicó el análisis de incertidumbre conocido como GLUE. Los resultados de las simulaciones de las descargas obtenidas respaldan la idoneidad de los modelos conceptuales basados en la hidrología de los suelos tanto en el período de calibración como en el de validación. Específicamente, se encontró que el modelo compuesto por dos reservorios en paralelo representa adecuadamente la escorrentía, aunque los modelos que incorporan tres reservorios dispuestos en serie proporcionan una representación más precisa de la escorrentía y una mejor capacidad para identificar los procesos subyacentes. En este contexto, se observó que el escurrimiento está determinado principalmente por la precipitación y las propiedades del suelo, pero se ha encontrado que la humedad inicial del suelo modula fuertemente las contribuciones de diferentes horizontes del suelo al escurrimiento. Nuestros hallazgos destacan que el flujo del río está predominantemente regulado por el flujo lateral subterráneo en horizontes orgánicos tanto en

condiciones húmedas como secas. Sin embargo, en todas las conceptualizaciones se incluye la estructura de un reservorio de dinámicas lentas. Se asume que la generación de flujo superficial es insignificante y ocurre solo después de eventos de lluvias intensas. Explorar este enfoque es importante para entender los procesos hidrológicos asociados al ciclo de lluvia-escorrentía y su relación con el tipo de suelo. No solo se considera una buena estrategia para los mercados de agua, sino que podría desarrollarse como una estrategia de adaptación para posibles situaciones de escasez de este recurso, importante para la supervivencia.

Para Pulg (2018), Esta tesis titulada “Modelización hidrológica distribuida con esquemas en volúmenes finitos” se sitúa en el ámbito de la aplicación de modelos 2D a finitos distribuidos en el contexto de cálculos relacionados con la transformación de lluvia en escorrentía. Aunque en la actualidad, la utilización de modelos bidimensionales para representar la escorrentía superficial es una realidad, el enfoque de esta investigación se centra en la aplicación de modelos que emplean las ecuaciones completas de Saint Venant 2D, también conocidas como onda dinámica 2D, para abordar todo el proceso de escorrentía. Además de la aplicación de este tipo de modelos, la tesis también aborda dos aspectos clave en la modelización de la escorrentía superficial. En primer lugar, se investiga cómo incorporar obstáculos urbanos en el modelo, y en segundo lugar, se analiza el impacto de la distribución espacial de la precipitación en este tipo de cálculos. El trabajo realizado por Pulg incluye la validación del modelo Saint Venant 2D en un entorno de laboratorio con cuencas artificiales especialmente diseñadas para este estudio. Estas cuencas artificiales representan diferentes configuraciones urbanas y escenarios de eventos de precipitación. Además, se lleva a cabo la validación del modelo en dos cuencas reales que cuentan con una amplia instrumentación. Una de estas cuencas es de carácter urbano y abarca una superficie de 12 hectáreas, ubicada en Galicia, España.

### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES**

Según Ramirez (2019) Este proyecto de investigación titulada "Simulación De Lluvia Escorrentía Para El Óptimo Funcionamiento De Estructuras De Captación En La Cuenca Urbana Del Centro Histórico De Huancavelica" se lleva a cabo en respuesta a la carencia de un sistema de drenaje pluvial adecuado en la ciudad de Huancavelica, que pueda captar y transportar de manera eficiente el exceso de escorrentía hacia el río Ichu. El objetivo principal de esta investigación es proponer soluciones para abordar la inundación de las calles mediante la implementación de estructuras de captación, como rejas y cunetas, de manera adecuada. Para llevar a cabo este proyecto, se dividió la zona de estudio en 35 áreas de drenaje, tomando en consideración la ubicación de las rejas. Esto se realizó con la ayuda de un vehículo no tripulado (Drone) y mediante visitas técnicas al terreno. Además, se propuso un valor para la Curva Número (CN). El proceso de obtención del hidrograma de escorrentía en cada una de las áreas de drenaje se basó en la aplicación del modelo agregado del Servicio de Conservación de Suelos (S.C.S) y los modelos distribuidos de Onda Cinemática (O.C) y Reservorio No Lineal (R.N.L). En total, se instaló un conjunto de 35 rejas de tipo P - 50, de las cuales 17 se ubicaron en las cunetas triangulares, logrando una eficiencia del 98.37 %. Asimismo, se colocaron 18 rejas de manera transversal en las calles, obteniendo una eficiencia del 100.00 %. Adicionalmente, se propusieron 17 cunetas triangulares que cumplen con la capacidad hidráulica necesaria para mitigar las inundaciones en las calles

Para Zarate (2020) En su tesis titulada "Modelado hidrológico e hidráulico del drenaje pluvial mediante el software swmm para la urbanización Monterrico de la ciudad Jaén - Cajamarca," el objetivo principal es evaluar el proyecto actual y proponer un nuevo diseño hidráulico para el sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Jaen utilizando el programa de modelamiento SWMM. Para lograr este propósito, se ha realizado una exhaustiva evaluación de los diez componentes fundamentales del expediente técnico, centrándose

especialmente en los estudios de topografía e hidrología. El propósito de este análisis es comprender y abordar la situación actual, así como identificar los problemas existentes en el sistema de drenaje pluvial de la ciudad. Como resultado de esta evaluación, se ha generado un nuevo diseño de proyecto utilizando la capacidad de modelamiento computarizado proporcionada por el software SWMM. Además, se ha llevado a cabo una verificación para garantizar que el nuevo diseño cumpla con todas las normas y regulaciones requeridas para proyectos de esta naturaleza.

Para Mamani (2020), En su trabajo de investigación titulada "Aplicación de un modelo hidrológico agregado lluvia - escorrentía a paso de tiempo mensual en la cuenca del río Callacame, Perú", el objetivo principal de esta tesis es presentar una metodología para modelar la propagación del flujo en una cuenca hidrográfica utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Este trabajo describe varios enfoques utilizados para estudiar la propagación del flujo en cuencas hidrográficas y explica por qué se ha optado por el enfoque de propagación "fuente a salida". Se presenta una metodología que emplea SIG para calcular el caudal en el punto de salida de una cuenca hidrográfica. Esto se logra mediante la incorporación de datos topográficos, información sobre las características del suelo y la distribución espacial de la precipitación efectiva en toda la cuenca. Es importante destacar que este trabajo proporciona una metodología general para modelar cualquier cuenca en el mundo utilizando SIG y se basa en el enfoque de propagación de flujo "fuente a salida". Sin embargo, para obtener datos precisos y específicos de una cuenca en particular, se requieren detalles específicos del terreno, así como datos observados de precipitación y caudal para llevar a cabo una calibración adecuada del modelo.

### **2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES**

Sandoval (2022), en su tesis titulada "Determinación del caudal máximo con aplicación del software ilwis para mejorar el dimensionamiento de nuevas obras hidráulicas en la subcuenca blanco

en Ambo” se enfoca en calcular caudales máximos para diferentes periodos de retorno con el propósito de mejorar la planificación de futuras obras hidráulicas. Como paso inicial, se realiza un análisis estadístico de las precipitaciones máximas para obtener las intensidades máximas. Para llevar a cabo este análisis, se utilizó el software de código abierto ILWIS, que proporciona información sobre las características físicas de la subcuenca Blanco. Con estos datos en mano, el investigador, Sandoval, procede a calcular los caudales de dos maneras distintas: la primera utilizando los datos de precipitación y la segunda basándose en las intensidades obtenidas. Luego, se comparan los caudales resultantes con los valores presentados en el estudio hidrológico del Puente Huancapata. En última instancia, se realiza una revisión de noticias relacionadas con el comportamiento del mencionado puente durante eventos de avenidas máximas, lo que revela que la estructura sufrió daños. En resumen, se concluye que los caudales estimados en el estudio hidrológico original del Puente Huancapata subestimaron la realidad. Los caudales calculados en esta investigación resultan significativamente más altos. Por lo tanto, se sugiere llevar a cabo futuras investigaciones que puedan comparar diferentes metodologías y, de esta manera, lograr una mayor precisión en la estimación de caudales para la subcuenca Blanco. Esto es relevante ya que los resultados contribuirán a una mejor planificación y dimensionamiento de obras hidráulicas. Este antecedente nos brinda información sobre la determinación del caudal máximo, los métodos que sirve como base para esta investigación.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. PARÁMETROS MORFOMÉTRICO**

#### **Área de drenaje**

Se define como la extensión que puede generar escurrimiento hacia una sección particular de un cuerpo de agua. La línea del límite del agua representa una frontera imaginaria que permite que la lluvia caída dentro de ella fluye superficialmente hacia la sección especificada (ver

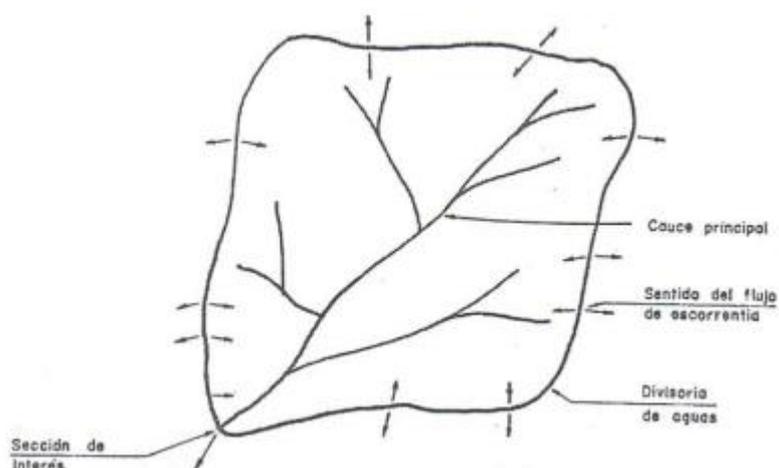
Figura 1). En términos de la interacción entre la precipitación y el escurrimiento, las características de la cuenca se dividen principalmente en dos áreas. (Breña, 2006)

El proyecto de grado se centra en destacar las características fundamentales de la cuenca que tienen una influencia significativa en dos elementos fundamentales: el caudal de agua que fluye generado a causa de un vendaval específico y la configuración del hidrograma resultante, que está estrechamente relacionada con la rapidez con que la cuenca responde ante un vendaval.

Luego, se expondrán los atributos de la cuenca que se consideran más pertinentes para este proyecto de grado, tomando como base varias fuentes [1, 2, 3 y 4].

### Figura 1

*Parte de una Ilustración 1 cuenca de drenaje*



*Fuente.* (Breña, 2006).

### Área de la cuenca

Se refiere al espacio que se encuentra en la proyección horizontal de la superficie que delimita la cuenca hidrográfica y que contribuye a la generación de escorrentía superficial hasta llegar al punto de interés. Para determinar esta área de la cuenca, se emplean diversos recursos, como mapas de suelos, imágenes satelitales o mapas topográficos. En

ocasiones, es necesario realizar una inspección directa en el terreno para identificar las áreas que no contribuyen y, por lo tanto, deben ser excluidas de la superficie considerada en el cálculo de la escorrentía superficial. (Julcamoro, 2017)

### **Pendiente media de la cuenca**

La pendiente promedio de la cuenca se calcula a partir de un plano de relieve y se obtiene mediante la suma de las extensiones de las líneas de contorno que se encuentran dentro de la cuenca. Luego, esta suma se multiplica por la diferencia de altitud entre las curvas de nivel y se divide por el área total de la cuenca.

$$PM = \frac{\sum L \times I}{A}$$

### **Tiempo de concentración**

El periodo de concentración, representado por "tc", se describe siendo el período en el cual el fluido se desplaza desde los mas alto distante de la cuenca hasta el lugar. En términos teóricos, este tiempo representa el lapso necesario para que, en caso de una lluvia constante, el flujo en que la cuenca alcance un estado de equilibrio en su salida.

#### ✓ **Método de Kirpich (1940)**

$$Tc = 3.9756 \times K \times L^{0.77} \times S^{-0.385}$$

La fórmula se compone de los siguientes elementos:

- Tc, que representa el tiempo de concentración en minutos.
- L, que corresponde a la longitud desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de interés en kilómetros.

- S, que es la pendiente ponderada del cauce en metros por metro y se halla empleando el método de Taylor y Schwarz.

$$S = \left[ \frac{L}{\sum \frac{li}{\sqrt{si}}} \right]^2$$

- K es un coeficiente que varía en función del tipo de superficie presente en la cuenca. Para superficies de asfalto o concreto, su valor es de 0.4. En el caso de canales revestidos de concreto, K tiene un valor de 0.2. Para superficies de suelo y cauces naturales, el valor de K es igual a 1.0.

✓ **Método de california**

$$Tc = 155.7 \times L^{0.77} \times S^{-0.385}$$

La fórmula se expresa de la siguiente manera:

- Tc representa el tiempo de concentración en minutos.
- L denota la longitud desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de interés en millas.
- S es la pendiente promedio medida en pies por pie (ft/ft).

✓ **Método del SCS – velocidad promedio**

$$Tc = \frac{\sum \frac{L}{V}}{60}$$

La fórmula se puede expresar de la siguiente manera:

- Tc representa el tiempo de concentración en minutos.
- L es la longitud de flujo en pies.
- V denota la velocidad promedio en pies por segundo (ft/s).

**Tabla 1**

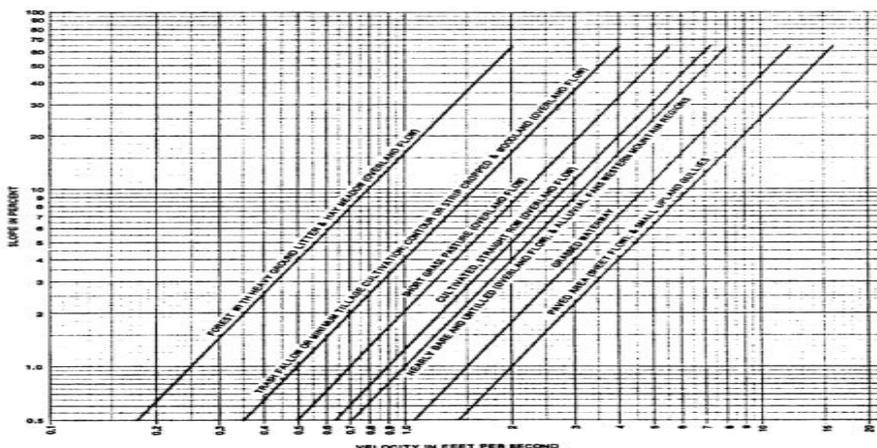
*Descripción del curso del agua*

Descripción del curso de agua	Pendiente en porcentaje			
	0-3	4-7	8-11	12
No encontrados (*)				
Bosques	0-0.46	0.46-0.76	0.79-0.99	0.99
Pastos	0-0.76	0.76-1.07	1.07-1.30	1.30
Cultivos	0-0.91	0.91-1.37	1.37-1.68	1.68
Pavimentos	0-2.59	2.59-4.11	4.11-5.18	5.18
Concentrado				
Salida del canal. Velocidad mediante la fórmula de Manning				
Canal natural no bien definido	0-0.61	0.61-1.22	1.22-2.13	2.13

Fuente. (Texas Highway department, 1970).

**Figura 2**

*Velocidades para estimar el tiempo de concentración*



Fuente. (Texas Highway department, 1970).

✓ **Método del SCS (1975)**

$$T_c = \frac{\left\{ 100 \times L^{0.8} \times \left[ \frac{100}{CN} - 9 \right]^{0.7} \right\}}{1900 \times S^{0.5}}$$

La fórmula se expresa de la siguiente manera:

- Tc representa el tiempo de concentración en minutos.
- L es la longitud hidráulica de la cuenca en pies.



- ✓ Lluvia ligera: tasas de caída de hasta 2.5 mm/h.
- ✓ Lluvia moderada: tasas de caída entre 2.5 y 7.5 mm/h.
- ✓ Lluvia fuerte: tasas de caída por arriba de 7.5 mm/h.

La principal fuente de humedad que da lugar a la lluvia proviene de la evaporación en la superficie marina. No obstante, la proximidad a la superficie marina no siempre se traduce en una precipitación equivalente, como evidencian numerosas islas desérticas. Factores climáticos como la latitud, altitud, continentalidad, corrientes marinas y vientos predominantes, junto con obstáculos geográficos como las barreras montañosas, son determinantes en la humedad atmosférica de una región.

### **2.2.5. FORMACIÓN**

Este significativo incremento en tamaño se origina debido a la unión de múltiples gotas entre sí, y esta conexión se puede explicar por varios factores:

- ✓ La fuerza eléctrica de atracción que actúa entre las gotículas presentes en las nubes.
- ✓ Las micro turbulencias que ocurren dentro de la masa nubosa.
- ✓ El arrastre de las gotas más pequeñas por parte de las gotas más grandes.
- ✓ Las diferencias de temperatura, donde las gotas más frías tienden a aumentar su tamaño a expensas de las más cálidas.

### **2.2.6. MAGNITUD DE UN AGUACERO**

Para calcular la magnitud de una lluvia intensa relacionada con un intervalo de recurrencia. en un área específica, se realiza un ajuste estadístico de las precipitaciones máximas registradas en un día por las estaciones pluviográficas. Lo que permite determinar la cantidad de precipitación en un punto particular dentro de un área determinada. Sin embargo, cuando se trata de estimar la precipitación en un área más extensa, el análisis de frecuencia no está tan detallado como en el caso

de las mediciones puntuales. Esto se debe a que es complicado determinar una distribución de probabilidad típica para un área completa.

Para abordar esta situación, se utilizan estimaciones de precipitación puntual y se extrapolan para obtener valores promedio de precipitación en un área más grande. La estimación de la precipitación en un área se puede enfocar en torno a la tormenta misma o puede estar localmente ajustada. En el último caso, se tiene en cuenta que en ocasiones, las estaciones de medición de la lluvia se encuentran próximas al centro de la tormenta, mientras que en otras ocasiones están más cerca de los bordes externos y en ocasiones en posiciones intermedias entre estos dos puntos. Para generar relaciones entre la profundidad promedio de precipitación en un área y las mediciones puntuales, se utiliza un proceso de promediado. Estas relaciones profundidad-área se establecen para diferentes duraciones y se derivan de un análisis de profundidad-área-duración.

En el análisis de profundidad-área-duración, se generan mapas de isoyetas para cada duración específica utilizando datos de precipitaciones máximas registradas durante un período de  $n$  horas en un área con una densa red de estaciones de medición. Luego, se calcula el área contenida dentro de cada isoyeta en estos mapas y se crea una gráfica que muestra la relación entre la profundidad promedio de precipitación y el área para cada duración considerada. (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

### **2.2.7. DURACIÓN**

La duración es la longitud de tiempo durante la cual cae la precipitación, lo que da lugar a la intensidad de la lluvia. Esta variable puede elegirse arbitrariamente según lo que queramos encontrar y cómo decidamos dividir el problema.

También se debe señalar que la precipitación no es la única medida que califica la lluvia de un clima: la duración de las lluvias es también un aspecto crucial. La duración de la lluvia es a menudo más importante que la cantidad total de lluvia, como la duración de la lluvia, que es un

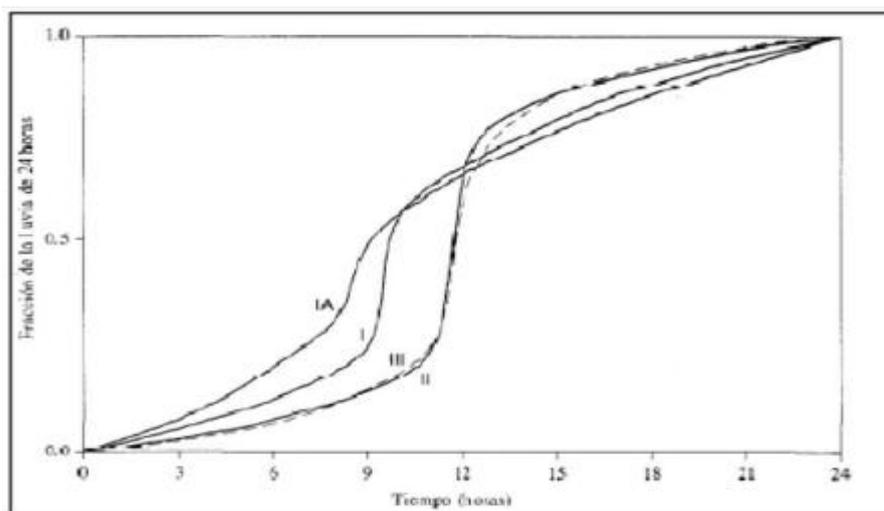
factor importante para la toma de decisiones al realizar actividades turísticas y en el contexto del tiempo libre.

## 2.2.8. DISTRIBUCIÓN DE LA LLUVIA

La extensión temporal de la tormenta tiene un efecto directo en la respuesta hidrológica de la cuenca. Específicamente, la elección de la distribución temporal de la lluvia es importante para la construcción del hietograma resultante que representa la tormenta de diseño. Estos son algunos tipos de hietogramas comúnmente usados para especificar la intensidad y duración de la lluvia:

- ✓ **Variantes basadas en aguaceros registrados:** Este enfoque asume que analizamos tormentas intensas que han ocurrido anteriormente en la cuenca, con el objetivo de identificar un patrón de lluvia representativo.
- ✓ **Distribuciones basadas en el modelo del SCS (Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos):** En 1986, el SCS desarrolló hietogramas sintéticos para diversas regiones de Estados Unidos. Se muestran ejemplos de los hietogramas desarrollados por el SCS.

**Figura 4**  
*SCS hidrogramas*



*Fuente.* (Villodas, 2008).

## 2.2.9. PRECIPITACIONES MÁXIMAS CON RELACIÓN AL PERIODO DE RETORNO

Las precipitaciones máximas con relación al periodo de retorno se refieren a la cantidad máxima de lluvia que se espera durante un evento de precipitación extremo, como una tormenta, dentro de un período de tiempo específico. El período de retorno indica la frecuencia con la que se espera que ocurra un evento de esa magnitud o mayor en un lugar determinado. Esta medida es fundamental en la evaluación del riesgo de inundaciones y en el diseño de infraestructuras hidrológicas y de drenaje para garantizar la seguridad frente a eventos extremos.

El período de retorno o recurrencia se refiere al intervalo de tiempo medio esperado entre la ocurrencia de eventos de un cierto nivel de magnitud o intensidad. En el contexto hidrológico, se utiliza para describir la frecuencia con la que se espera que ocurran ciertos eventos, como lluvias intensas o crecidas de ríos, de una magnitud específica o mayor. Por ejemplo, un período de retorno de 100 años indica que se espera que un evento de esa magnitud ocurra, en promedio, una vez cada 100 años. Este concepto es fundamental en la gestión del riesgo de inundaciones y en el diseño de infraestructuras hidráulicas y de drenaje.

### ✓ **Método gráfico**

El método gráfico desarrollado por Weibull se utiliza para ajustar datos a la distribución de probabilidad de Weibull. Esta distribución se utiliza comúnmente en estadísticas para modelar variables que tienen una distribución asimétrica y se utiliza en una variedad de campos, incluyendo la ingeniería, la meteorología y la fiabilidad de los productos. El método gráfico de Weibull implica trazar los datos en un papel semilogarítmico y ajustar una línea recta que mejor se ajuste a los puntos, lo que permite estimar los parámetros de forma y escala de la distribución de Weibull. Este método proporciona una forma rápida y visualmente intuitiva de realizar el ajuste de los datos a la distribución de Weibull.

### ✓ **Método de Gumbel**

Este enfoque implica una forma estadística para estimar los caudales máximos utilizando una serie de registros de caudales máximos obtenidos en el lugar de interés. Los valores máximos se someten a un ajuste que los adapta a una distribución acumulativa de probabilidad que tiene la siguiente forma:

$$F(x) = \exp - \left( -\exp \left( \frac{X - u}{\alpha} \right) \right)$$

✓ **Método de Log Person**

Foster introdujo este enfoque en 1924, el cual se centra principalmente en la transformación de datos. No obstante, en este método, el valor de K no solamente se basa en Tr (el período de retorno), sino que también es influenciado por el coeficiente de asimetría g. Este coeficiente señala la medida en que los datos o valores de la distribución están separados en relación con una distribución normal de Gauss. (Ramírez, Ghanem, & Lárez, 2006)

$$\text{Log } X = \text{Log } \bar{X} + K \cdot S_{\text{Log } X}$$

## 2.2.10. AJUSTES DE PROBABILIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN – PRUEBA DE BONDAD

La "prueba de bondad" es un procedimiento estadístico utilizado para evaluar qué tan bien se ajusta una distribución de probabilidad a un conjunto de datos observados. En el contexto de ajustes de probabilidad de distribuciones en hidrología, esta prueba se utiliza para determinar si la distribución teórica seleccionada es adecuada para representar los datos hidrológicos observados.

La prueba de bondad implica comparar las características estadísticas de los datos observados con las que se esperarían bajo la distribución teórica ajustada. Los estadísticos de prueba comunes utilizados en este contexto incluyen el coeficiente de correlación de Pearson, la prueba de Kolmogorov-Smirnov, la prueba de Anderson-Darling y la prueba de chi-cuadrado.

### 2.2.11. MÉTODOS DE INFILTRACIÓN

La infiltración es el procedimiento mediante el cual el agua se introduce desde la superficie del suelo hacia el interior de la tierra. En una fase inicial, se satisface la carencia de humedad del suelo en las capas superficiales, y después, una vez que se alcanza cierto nivel de humedad, el agua se integra en el sistema de aguas subterráneas, llenando los espacios vacíos.

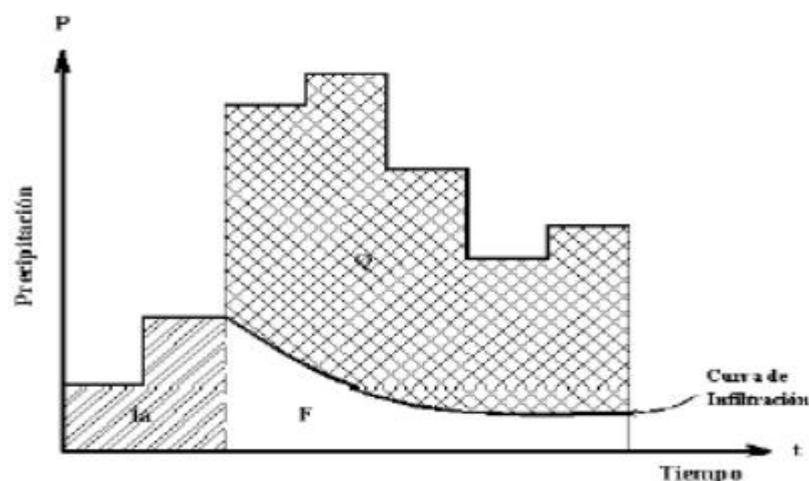
### 2.2.12. MÉTODO SCS

El método SCS se basa en la curva de número de escurrimiento (CN), que representa la relación entre la lluvia y la escurrimiento en función de las características físicas de la cuenca, como la pendiente, el tipo de suelo, el uso de la tierra y la cobertura vegetal. La CN se utiliza para calcular la escurrimiento superficial a partir de la precipitación efectiva, que es la cantidad de lluvia que contribuye a la escurrimiento.

El método SCS proporciona una herramienta simple y efectiva para estimar la escurrimiento superficial en cuencas no instrumentadas, lo que lo hace especialmente útil en áreas donde la disponibilidad de datos hidrológicos es limitada. Sin embargo, también tiene limitaciones y supuestos simplificados, lo que puede afectar su precisión en ciertas condiciones y tipos de cuencas.

**Figura 5**

*Relación de escurrimiento, precipitación y retención*



*Fuente.* (Villodas, 2008).

### 2.2.13. HIDROGRAMA UNITARIO

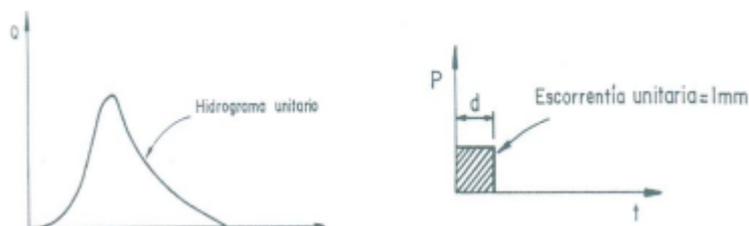
Un hidrograma unitario es una representación gráfica de la respuesta de una cuenca hidrográfica a una unidad de precipitación efectiva, es decir, la cantidad de lluvia que contribuye a la escorrentía. Este concepto es fundamental en hidrología para entender cómo la cuenca responde a diferentes eventos de lluvia y para el diseño de infraestructuras hidráulicas como presas, embalses y sistemas de drenaje.

El hidrograma unitario muestra la variación temporal del caudal en la salida de la cuenca en función del tiempo, después de aplicar una unidad de precipitación efectiva. Se utiliza para estimar la respuesta hidrológica de una cuenca ante diferentes eventos de lluvia, lo que permite predecir el comportamiento de la escorrentía y calcular el caudal pico.

Para desarrollar un hidrograma unitario, se requiere una serie de datos hidrológicos observados, como el caudal en la salida de la cuenca y la precipitación efectiva. A partir de estos datos, se puede calcular la respuesta de la cuenca y graficarla en un hidrograma unitario. Este hidrograma luego se convierte en una función de transferencia que se utiliza para simular la respuesta de la cuenca a diferentes patrones de precipitación.

**Figura 6**

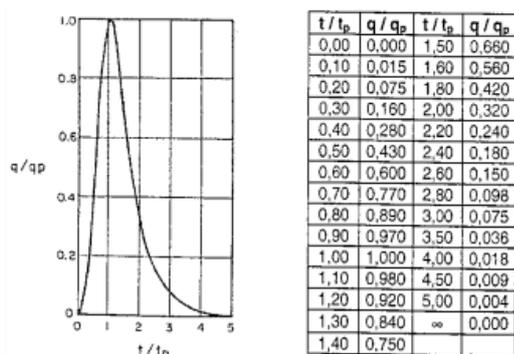
*Hidrograma unitario*



*Fuente.* (Villodas, 2008).

**Figura 7**

*Hidrograma US soil conservation service*



Fuente. (Villodas, 2008).

## 2.2.14. HEC-HMS Y HYFRAN

### ➤ Hyfran

Hyfran es un programa computacional utilizado en hidrología para el cálculo de hidrogramas de creciente y su aplicación en el análisis de cuencas hidrográficas. Este software se utiliza principalmente en el estudio de la respuesta de las cuencas a eventos de precipitación y en el diseño de obras hidráulicas.

Hyfran permite realizar análisis hidrológicos detallados, incluyendo la simulación de eventos de lluvia, el cálculo de la escorrentía superficial, la estimación de hidrogramas de creciente y la predicción del comportamiento de los caudales en los ríos y arroyos. También facilita la evaluación de diferentes escenarios de gestión del agua y la toma de decisiones relacionadas con la planificación y el manejo de los recursos hídricos.

Este programa proporciona una interfaz gráfica intuitiva que permite a los usuarios ingresar datos hidrológicos y configurar parámetros de modelado de manera sencilla. Además, Hyfran cuenta con herramientas de visualización que permiten analizar los resultados de forma clara y efectiva, lo que lo convierte en una herramienta útil para ingenieros, investigadores y profesionales en el campo de la hidrología.

Hyfran es una herramienta de modelado hidrológico ampliamente utilizada que ofrece varias ventajas:

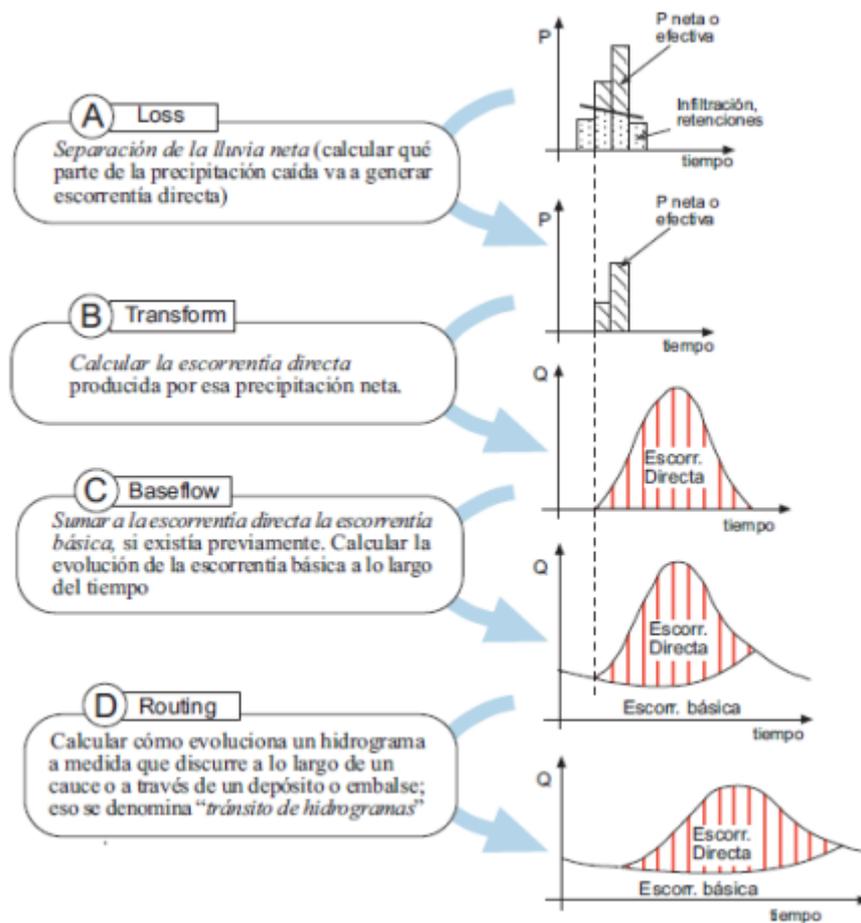
- **Flexibilidad:** Hyfran permite modelar una amplia gama de condiciones hidrológicas y escenarios, lo que lo hace adecuado para diversas aplicaciones en ingeniería hidrológica y gestión de recursos hídricos.
- **Interfaz amigable:** Su interfaz de usuario intuitiva facilita la entrada de datos, la configuración del modelo y la visualización de resultados, lo que lo hace accesible incluso para usuarios menos experimentados en modelado hidrológico.
- **Modelización distribuida:** Hyfran es capaz de modelar la distribución espacial de la precipitación, la escorrentía y otros procesos hidrológicos, lo que permite un análisis más detallado de las cuencas hidrográficas y una mejor comprensión de su respuesta a los eventos de lluvia.
- **Integración con otros softwares:** Hyfran puede integrarse con otros softwares hidrológicos y GIS (Sistemas de Información Geográfica), lo que facilita el intercambio de datos y la interoperabilidad con otros sistemas de modelado y análisis.
- **Actualizaciones y soporte:** Como herramienta establecida en la comunidad hidrológica, Hyfran suele recibir actualizaciones periódicas y cuenta con un sólido soporte técnico, lo que garantiza su fiabilidad y eficacia en el modelado hidrológico.
- **Documentación detallada:** Hyfran generalmente cuenta con una documentación completa que incluye manuales de usuario, tutoriales y ejemplos de aplicación, lo que facilita su aprendizaje y uso efectivo.

➤ **Hec-Hms**

HEC-HMS es un software de gran complejidad que tiene la capacidad de calcular el hidrograma de una cuenca cuando se le proporcionan datos físicos de dicha cuenca, así como información sobre la precipitación, entre otros datos relevantes.

**Figura 8**

*Hec - HMS manual*



Fuente. HEC -HMS manual

## 2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

### 2.3.1. CUENCA HIDROGRÁFICA

La zona terrestre que alberga las aguas que se originan y fluyen a través de valles y cañadas, formando una red de afluentes interconectados que alimentan el río principal en la cuenca, se denomina

sistema de drenaje o red de afluentes que desemboca en el río principal. (Garcia, 2020)

### **2.3.2. HEC- HMS**

HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System) es una herramienta de software utilizada para modelar y analizar el comportamiento hidrológico de cuencas hidrográficas, lo que lo convierte en una herramienta valiosa para la gestión y planificación del agua en diversos contextos. (HEC - HMS, 2015)

### **2.3.3. PRECIPITACIÓN**

La precipitación se origina cuando la humedad presente en la atmósfera se condensa y cae a la superficie terrestre en forma de diferentes manifestaciones, como lluvias, lloviznas, granizadas y nevadas. Este proceso se desencadena cuando las corrientes de aire cargadas de humedad ascienden hacia las capas más frías de la atmósfera, creando un contraste térmico. La precipitación es una fuente crucial de agua en la superficie de la Tierra y su medición y análisis son fundamentales para iniciar investigaciones en el campo de la hidrología. Estas investigaciones tienen como objetivo principal gestionar y controlar el agua, especialmente desde la perspectiva de la ingeniería hidrológica. (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

### **2.3.4. HYFRAN**

Es un software desarrollado para llevar a cabo análisis estadísticos de series de datos, particularmente enfocado en el análisis de eventos extremos. Ofrece varias distribuciones estadísticas para el análisis de datos, funciones gráficas, la capacidad de comparar diferentes ajustes y es conocido por su empleo sencillo. (flores, 2018).

### **2.3.5. INFILTRACIÓN**

Según (Martinez, 1999) se refiere al proceso natural mediante el cual el agua penetra desde la superficie de la tierra hacia el suelo. Este

proceso ocurre cuando el agua de la lluvia o de otras fuentes entra en el suelo a través de sus poros y grietas.

### **2.3.6. HIDROGRAMA**

Según (Martinez, 1999) Analiza y comprende el comportamiento de los ríos y arroyos ante eventos de lluvia, deshielo o liberación de embalses, lo que es fundamental para la gestión de recursos hídricos, la prevención de inundaciones y otros fines relacionados con el agua.

## **2.4. HIPÓTESIS GENERAL**

H1: Si aplicamos los modelos de lluvia-escorrentía en los softwares Hyfran y Hec-HMS, aprovechando la información hidrometeorológica disponible en la cuenca del río Huallaga en el sector del puente Corpac, permitirá la estimación precisa de hidrogramas de crecidas para diferentes intervalos de recurrencia.

## **2.5. VARIABLES**

### **2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE**

Cálculo preciso de hidrogramas de crecidas por el método de lluvia-escorrentía.

- **Indicadores**
  - Exactitud en la estimación de hidrogramas de crecidas.
  - Variabilidad de los intervalos de recurrencia considerados en la estimación.

### **2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Implementación de las herramientas de software Hyfran y Hec-HMS.

- **Indicadores**
  - Empleo de las herramientas de software Hyfran y Hec-HMS.
  - Acceso y disponibilidad de información hidrometeorológica.

## 2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

“METODOLOGÍA PARA CALCULAR HIDROGRAMAS DE CRECIDAS UTILIZANDO MODELOS DE LLUVIA ESCORRENTÍA CON HYFRAN Y HEC-HMS. ESTUDIO DE CASO: CUENCA DEL RÍO HUALLAGA EN EL SECTOR DEL PUENTE CORPAC, HUÁNUCO – 2024.”

Variable Dependiente	Dimensión	Indicador	Tipo de variable	Escala de medición
Estimación precisa de hidrogramas de crecidas por el método de lluvia-escorrentía	Evaluación	Precisión en la estimación de hidrogramas de crecidas.	Cuantitativa	Discreta
	Comparación			
	Importancia	Variabilidad de los intervalos de recurrencia considerados en la estimación		
Variable independiente	Dimensión	Indicador	Tipo de variable	Escala de medición
Aplicación de las herramientas de software Hyfran y Hec-HMS.	Procedimiento	Uso de las herramientas de software Hyfran y Hec-HMS.	Cuantitativa	Discreta
	Información	Acceso y disponibilidad de información hidrometeorológica		
	Análisis			

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1. ENFOQUE**

La investigación se caracterizará por su enfoque cuantitativo, ya que se centrará en el análisis de componentes que pueden ser evaluados, medidos y expresados en términos numéricos. La metodología empleada para llevar a cabo este análisis se basará en el cálculo de hidrogramas de crecida mediante el uso de modelos de lluvia-escorrentía con las herramientas Hyfran y Hec-HMS, la cual se aplicará en el contexto de la cuenca del río Huallaga.

##### **3.1.2. ALCANCE O NIVEL**

Según Hernández y Mendoza (2018), este estudio se realizará siguiendo una perspectiva de investigación descriptiva, dado que se abordaron dos variables complejas con indicadores cuantitativos de manera secuencial, sin la intención principal de establecer una relación específica entre ambas variables. Por lo tanto, esta investigación de nivel descriptivo se enfocará en la recopilación y presentación objetiva de datos obtenidos del río Huallaga con el propósito de comprender y describir una situación o fenómeno particular, sin buscar explicar las razones subyacentes detrás de las observaciones.

##### **3.1.3. DISEÑO**

Para examinar los cambios, sus determinantes y sus consecuencias, se aplicarán enfoques de investigación no experimental o longitudinales no empíricos, que implicarán la adquisición de datos en diferentes momentos o períodos, siguiendo la orientación de Hernández y Mendoza (2018).

Estos estudios de investigación incorporaron dos modelos de investigación: el diseño documental y el diseño de campo. Esto implica que se utilizaran tanto datos extraídos de fuentes literarias ya existentes

(datos secundarios) como datos recopilados directamente de fuentes primarias para lograr cada uno de los objetivos específicos del estudio. Es importante destacar que en esta investigación no se perseguirá la identificación de relaciones causales entre variables ni se efectuará la manipulación o el control de variables con el fin de determinar sus efectos sobre otras variables, ya que este no será el enfoque central de la investigación.

## **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.2.1. POBLACIÓN**

La población se refiere a la totalidad de casos que se ajustan a múltiples series de especificaciones. Además, esta población representa un conjunto que puede ser finito o infinito, compuesto por elementos que comparten características similares la cual requiere una evaluación. Hernández (2014).

De acuerdo con lo anterior, la población de análisis abarca la cuenca del Huallaga en la ciudad de Tingo María, en la provincia de Leoncio Parado en el departamento de Huánuco.

### **3.2.2. MUESTRA**

Una muestra se describe como una porción seleccionada de la población en la que se centra el estudio y la recopilación de datos, y que puede ser precisamente definido o delimitado de antemano. Además, esta muestra debe ser representativa de la población en su conjunto. El objetivo del investigador es que los resultados encontrados en la muestra puedan extrapolarse a toda la población. (Hernandez, 2014)

Siguiendo esta definición, podemos concluir que, en esta investigación, la muestra se utiliza para reconocer los atributos particulares de la población según ciertas cualidades. Por lo tanto, este estudio tomará como muestra los datos recopilados de la población en la cuenca del Huallaga, específicamente en el tramo del puente Corpac.

### 3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### 3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

##### ✓ Técnica

En este estudio, se utilizaron técnicas de observación y análisis de contenido como parte de las estrategias empleadas. Estas estrategias se centraron en examinar y evaluar recursos y datos con el fin de recopilar los datos fundamentales necesarios para dar inicio a la investigación.

Entre ellas se hizo uso de cartografía digital, la recopilación de registros de precipitación diaria y la implementación de los programas de Hyfran y Hec-HMS para determinar así los hidrogramas de crecida de escorrentía.

#### 3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

##### ✓ Instrumentos

Los instrumentos que se utilizaran son:

- Cuadros y hojas de tablas estadísticas
- Hyfran y Hec-HMS

**Tabla 2**

*Datos de precipitación máxima*

Estación	Periodo	$P_{m\acute{a}x}$
Tingo María		



Con los datos recolectados, se aplicaron la prueba de ajuste de Smirnov Kolmogorov para llevar a cabo los análisis estadísticos utilizando diversas distribuciones, como la normal, log-normal de 2 indicadores, log-Pearson tipo III o Gumbel. El objetivo fue determinar cuál de estas distribuciones se ajustaba mejor a los datos hidrológicos y obtener información relevante.

A continuación, se desarrollaron los hidrogramas con ayuda de los programas Hyfran y Hec-HMS eligiendo así un tiempo de retorno adecuado para el estudio y luego se procedió con el método de infiltración como el método SCS, método con base en la relación de lluvia-escorrentía o mediante métodos empíricos, una vez realizado todo él se procederá a sacar los diagramas unitarios mediante diferentes métodos empleando los programas como de forma empírica y así obtener los resultados adecuados.

# CAPÍTULO IV

## RESULTADOS

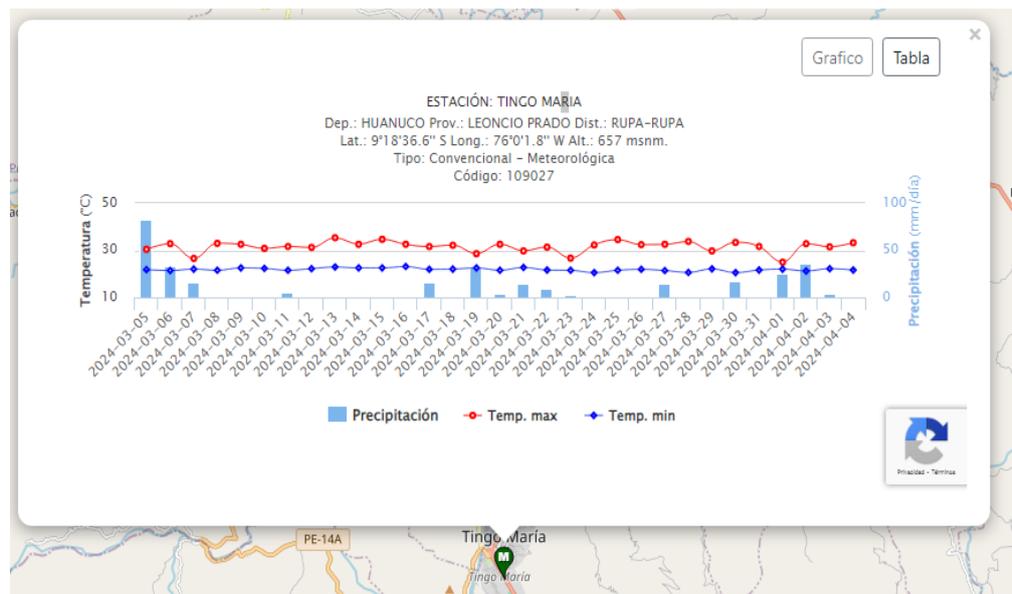
### 4.1. PROPUESTA DE DATOS

#### ✓ Lluvias según el régimen mensual

Primero se procedió a ingresar a la página del senamhi (<https://www.senamhi.gob.pe/servicios/?p=estaciones>) en dicha página se encuentra todas las estaciones disponibles de Perú, se buscó la estación cercana al lugar de estudio, siendo esta la estación Tingo María, ubicada en el distrito de rupa rupa con código 109027, esta estación es de tipo Meteorológica.

**Figura 9**

*Estación cercana*



*Nota.* Estación de precipitación – Tingo María

Se procedió a obtener las precipitaciones máximas por mes del año 2022 de enero a diciembre hasta el 2023 y de enero del 2024 (ver anexos) para completar con los 25 datos mínimos para poder realizar el estudio.

Obteniendo la siguiente tabla:

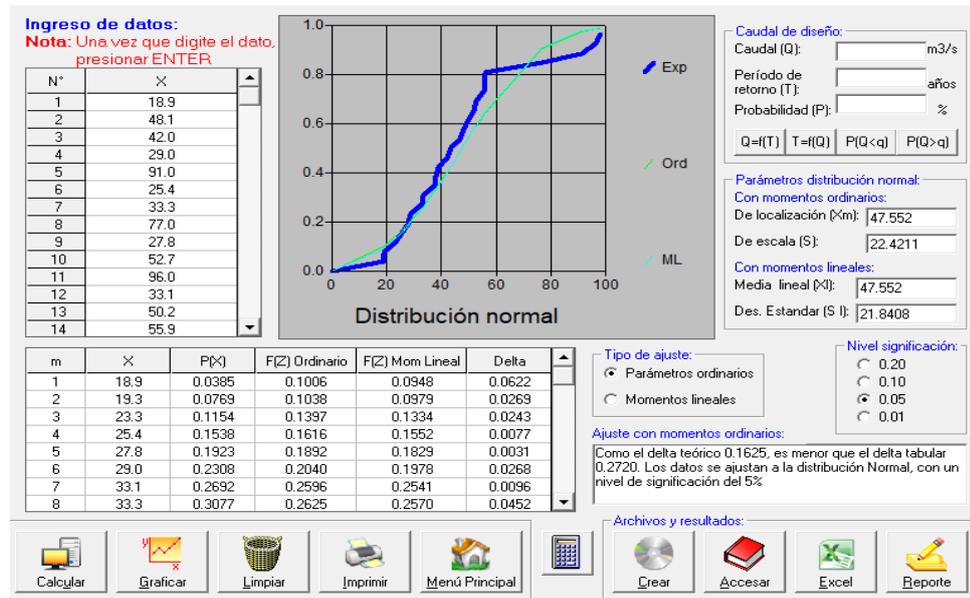
**Tabla 3***Datos de precipitación máxima por meses*

<b>Estación</b>	<b>Periodo</b>	<b><math>P_{m\acute{a}x}</math></b>
Tingo María	2022- ene	18.9
Tingo María	2022- feb	48.1
Tingo María	2022- mar	42
Tingo María	2022- abr	29
Tingo María	2022- may	91
Tingo María	2022- jun	25.4
Tingo María	2022- jul	33.3
Tingo María	2022- agt	77
Tingo María	2022- set	27.8
Tingo María	2022- oct	52.7
Tingo María	2022- nov	96
Tingo María	2022- dic	33.1
Tingo María	2023- ene	50.2
Tingo María	2023- feb	55.9
Tingo María	2023- mar	55.9
Tingo María	2023- abr	39
Tingo María	2023- may	43.4
Tingo María	2023- jun	46.7
Tingo María	2023- jul	37.8
Tingo María	2023- agt	19.3
Tingo María	2023- set	37.5
Tingo María	2023- oct	23.3
Tingo María	2023- nov	55.4
Tingo María	2023- dic	52.1
Tingo María	2024- ene	98

*Nota.* Cuadro de datos que se tomó en la estación de tingo maría desde enero del 2022 hasta enero del 2024.

Una vez obtenida las precipitaciones máximas se procede a usar el Hidroesta para realizar la prueba de bondad y así identificar la distribución adecuada a usar.

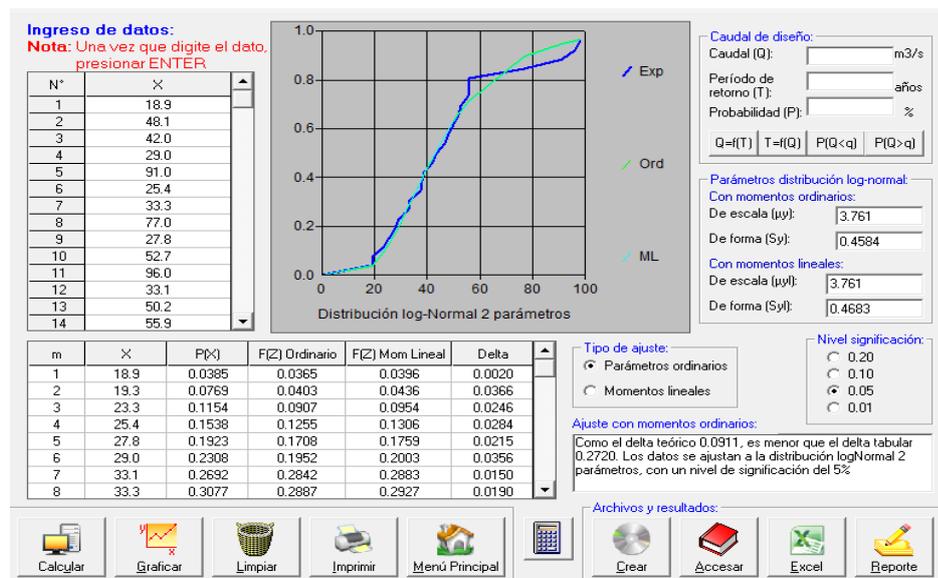
**Figura 10**  
Distribución normal HidroEsta



Nota. Datos de la distribución de la ciudad de Tingo María realizada en la HidroEsta.

En la figura anterior se muestra la distribución normal realizada en el hidroesta usando los datos de precipitación máxima obtenida previamente, luego de ingresar los datos, se obtiene que el delta teórico de la distribución normal es de 0.1625.

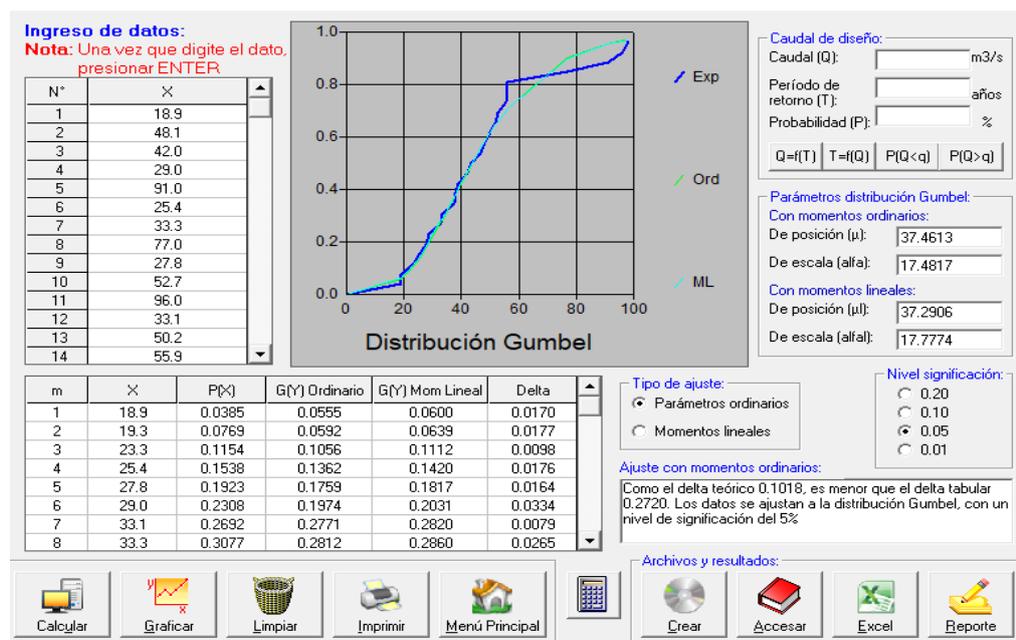
**Figura 11**  
Distribución Lognormal HidroEsta



Nota. Distribución de Log-normal realizada en a hidroesta de precipitaciones máximas.

En la figura anterior se muestra la distribución Log-normal realizada en el hidroesta usando los datos de precipitación máxima obtenida previamente, luego de ingresar los datos, se obtiene que el delta teórico de la distribución Log-normal es de 0.0911.

**Figura 12**  
*Distribución Gumbel HidroEsta*



*Nota.* Distribución Gumbel realizadas en el hidroesta usando datos de precipitación máximas.

En la figura anterior se muestra la distribución Gumbel realizada en el hidroesta usando los datos de precipitación máxima obtenida previamente, luego de ingresar los datos, se obtiene que el delta teórico de la distribución Gumbel es de 0.1018.

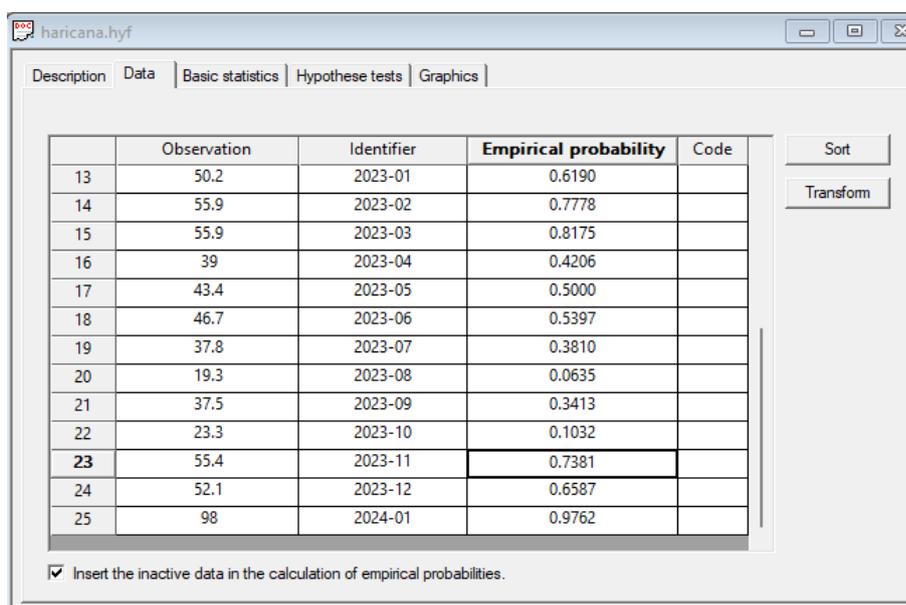
Después de realizar las tres distribuciones en el hidroesta, se observa que el delta teórico menor es de la distribución log-normal siendo de 0.0911, por ello esa sería la distribución seleccionada.

✓ **Hyfran**

Se ingresa en el interfaz de Hyfran los datos de la precipitación.

**Figura 13**

*Ingreso de datos*



	Observation	Identifier	Empirical probability	Code
13	50.2	2023-01	0.6190	
14	55.9	2023-02	0.7778	
15	55.9	2023-03	0.8175	
16	39	2023-04	0.4206	
17	43.4	2023-05	0.5000	
18	46.7	2023-06	0.5397	
19	37.8	2023-07	0.3810	
20	19.3	2023-08	0.0635	
21	37.5	2023-09	0.3413	
22	23.3	2023-10	0.1032	
23	55.4	2023-11	0.7381	
24	52.1	2023-12	0.6587	
25	98	2024-01	0.9762	

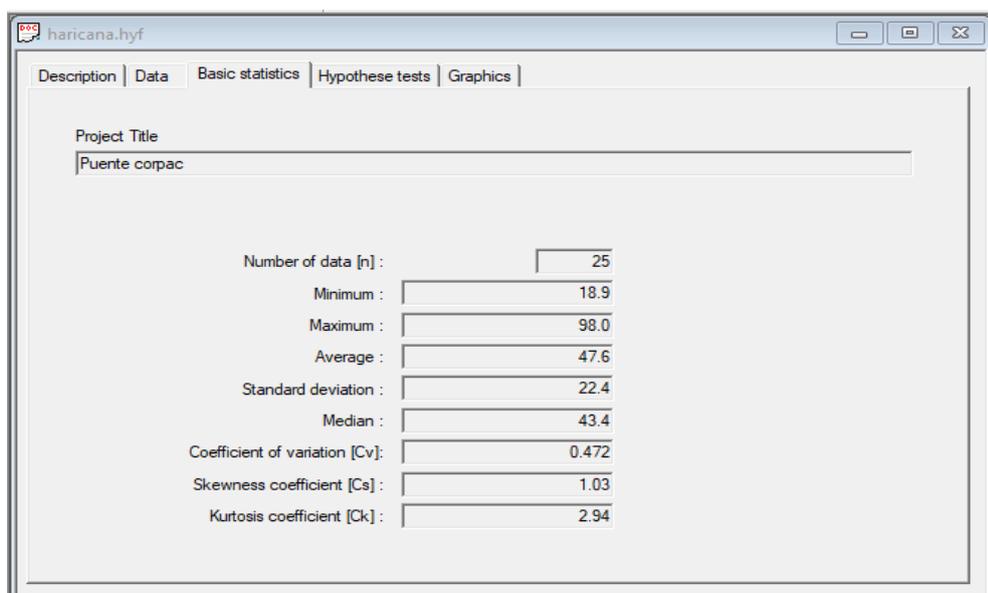
Insert the inactive data in the calculation of empirical probabilities.

*Nota.* Se ingresaron todos los datos en el interfaz de hyfran.

Se muestra cómo se ingresa los datos a la interfaz, donde observation son las precipitaciones e identifier es la fecha, la parte de empirical probability se da de manera automática.

**Figura 14**

*Base estadística*



Project Title	Puente corpac
Number of data [n] :	25
Minimum :	18.9
Maximum :	98.0
Average :	47.6
Standard deviation :	22.4
Median :	43.4
Coefficient of variation [Cv]:	0.472
Skewness coefficient [Cs] :	1.03
Kurtosis coefficient [Ck] :	2.94

*Nota.* Se realizó la base estadística de la cantidad de datos obtenidos, datos máximos, y mínimos.

En esta parte nos muestra la parte estadística de los datos donde se ve la cantidad de datos que se tiene, el dato máximo y mínimo, la media, el coeficiente de variación y los datos estadísticos que se hará uso para realizar la distribución seleccionada, eso también se da de manera automática solo con ingresar los datos.

Luego con esos datos se procede a sacar la distribución de log normal obteniendo la siguiente tabla:

**Tabla 4**  
*Resultados de Hyfran*

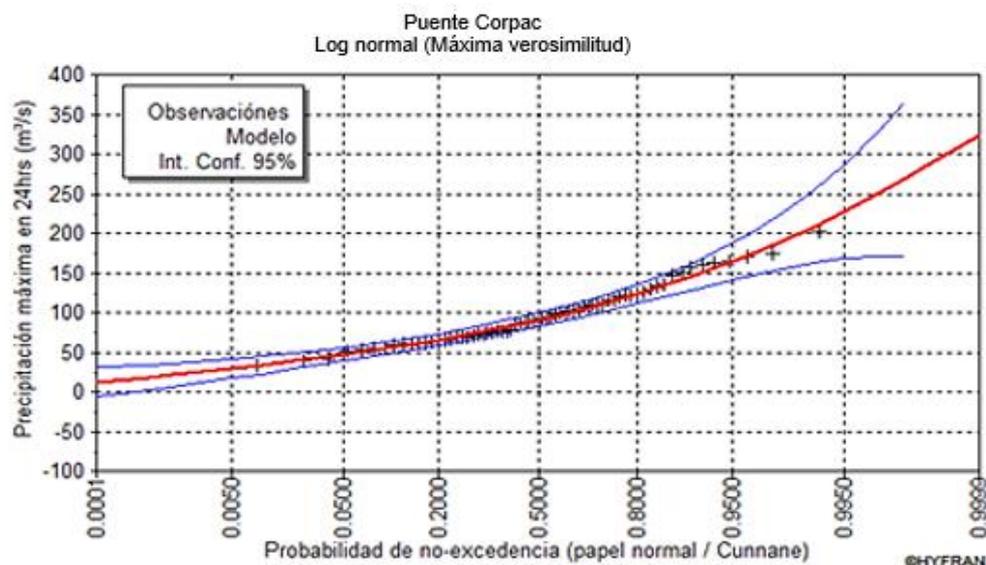
<b>Tr</b>	<b>q</b>	<b><math>P_{m\acute{a}x}^{24}</math></b>
<b>10000.00</b>	0.9999	236.48
<b>2000.00</b>	0.9995	194.32
<b>1000.00</b>	0.9990	178.28
<b>500.00</b>	0.9980	160.86
<b>200.00</b>	0.9950	140.04
<b>100.00</b>	0.9900	124.91
<b>50.00</b>	0.9800	110.24
<b>25.00</b>	0.9600	95.94
<b>20.00</b>	0.9500	91.39
<b>10.00</b>	0.9000	77.37
<b>5.00</b>	0.8000	63.23
<b>3.00</b>	0.6667	52.37
<b>2.30</b>	0.5708	46.34
<b>2.00</b>	0.5000	42.99

*Nota.* Resultados Hyfan obtenidos de la distribución Log normal.

En la tabla anterior se muestra el resultado que nos da el Hyfran cuando se busca la Pmax, obtenido de la distribución log normal, donde nos muestra y tabula los diferentes periodos de retornos, estos periodos se pueden modificar y dar el que nos sea útil, pero con lo mostrado es suficiente para el estudio.

**Figura 15**

Gráfica de tendencia



Nota. En la gráfica se muestra la tendencia que tiene los datos obtenidos de la Pmax para cada periodo de retorno en este caso está en probabilidad.

De la tabla de Pmax para los diferentes periodos de retorno, solo se tendrá en cuenta estos resultados:

**Tabla 5**

Periodos de retorno a usar

Tr	P max 24
500.00	160.86
200.00	140.04
100.00	124.91
50.00	110.24
25.00	95.94
20.00	91.39
10.00	77.37
5.00	63.23

Nota. Resultados del periodo de retorno que se usó.

Pero antes de continuar con la aplicación del Hec-Hms para calcular los caudales, se tienen en cuenta que en el lugar de estudio pueda presentar aguaceros en la cual se tiene lluvias de

aproximadamente 3 horas, por ende, usaremos una tabla de comportamiento interno de lluvias.

**Tabla 6**

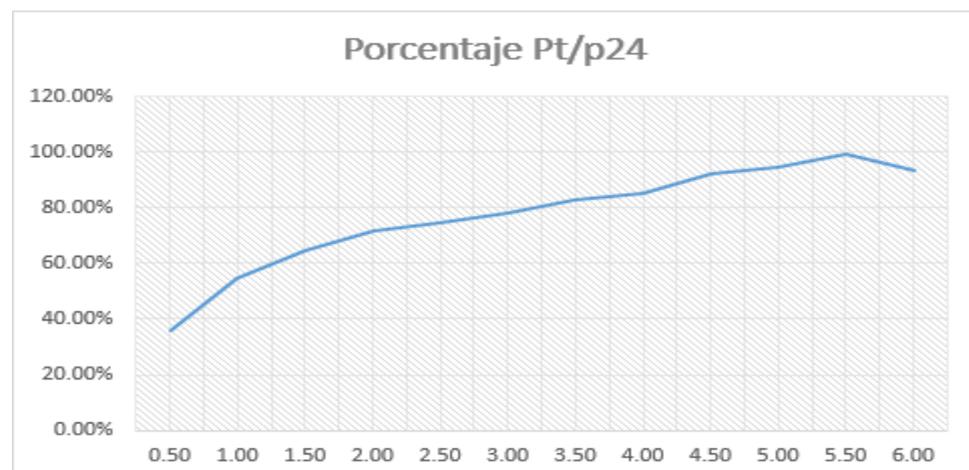
*Tabla de comportamiento interno de lluvias*

<b>Duración lluvias (hrs)</b>	<b>Porcentaje Pt/p24</b>
<b>0.50</b>	35.60%
<b>1.00</b>	54.94%
<b>1.50</b>	64.40%
<b>2.00</b>	71.45%
<b>2.50</b>	74.41%
<b>3.00</b>	78.34%
<b>3.50</b>	82.87%
<b>4.00</b>	85.01%
<b>4.50</b>	92.21%
<b>5.00</b>	94.77%
<b>5.50</b>	99.47%
<b>6.00</b>	93.40%

*Nota.* Datos del comportamiento interno de las lluvias.

**Figura 16**

*Tendencia del porcentaje de lluvia*



*Nota.* Se muestra la tabla de los datos de lluvias obtenidas.

Una vez observada la tabla anterior se quiere obtener los datos de lluvias para 3 horas por ende el factor es de 78.34% en caso se quiera

hacer de 6 horas o de cada hora el factor cambia dependiendo de lo requerido.

Una vez obtenido el factor se procede a calcular la precipitación para una precipitación, pero de 3 horas, con los datos de 24 horas.

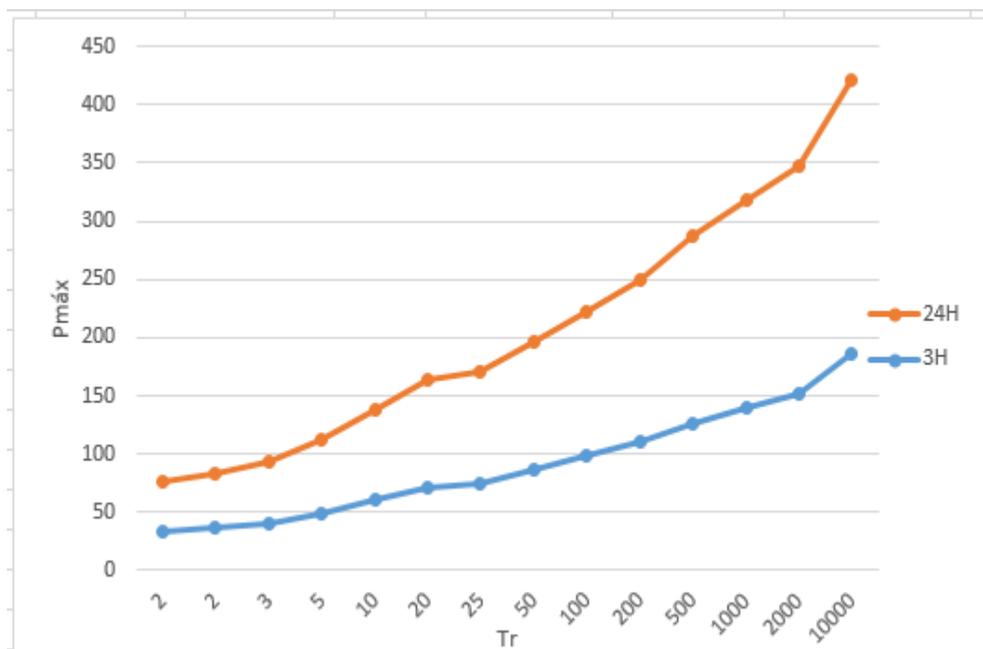
**Tabla 7**

*Para un tiempo de 3 horas*

<b>Tr</b>	<b>p max 24</b>	<b>p max 3</b>
<b>2.00</b>	42.99	33.678366
<b>2.3</b>	46.34	36.302756
<b>3</b>	52.37	41.026658
<b>5</b>	63.23	49.534382
<b>10</b>	77.37	60.611658
<b>20</b>	91.39	71.594926
<b>25</b>	95.94	75.159396
<b>50</b>	110.24	86.362016
<b>100</b>	124.91	97.854494
<b>200</b>	140.04	109.707336
<b>500</b>	160.86	126.017724
<b>1000</b>	178.28	139.664552
<b>2000</b>	194.32	152.230288
<b>10000</b>	236.48	185.258432

**Figura 17**

*Relación gráfica entre las 24h y 3h P<sub>máx</sub>*



Luego se procede con la distribución acumulada de la lluvia, pero dentro de las 3 horas, para cada periodo de retorno. Tener en cuenta que para la tabulación se tuvo que usar los valores de ocurrencia al 90% por a ese porcentaje se genera menor infiltración y de la misma forma aumenta de manera progresiva los volúmenes de escorrentía.

**Tabla 8***Distribución acumulada de lluvia*

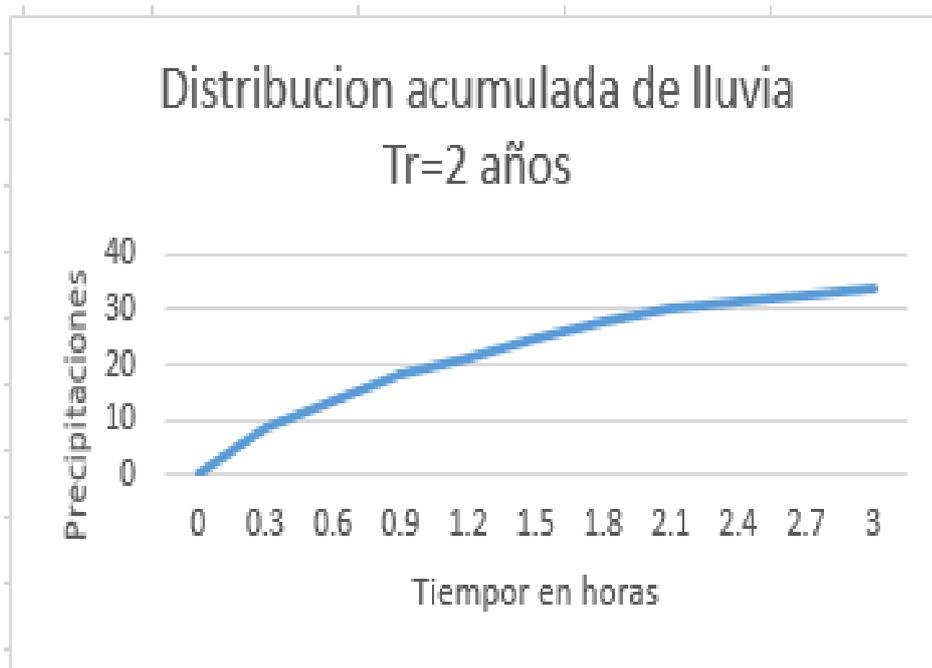
<b>Distribución acumulada de lluvia</b>							
<b>Tr</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
<b>Tiempo/P3</b>	33.678	49.53	60.612	75.159	86.362	97.85	126.02
<b>0</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>0.3</b>	8.5745	12.611	15.432	19.136	21.988	24.91	32.084
<b>0.6</b>	13.599	20.002	24.475	30.349	34.873	39.51	50.886
<b>0.9</b>	18.042	26.536	32.47	40.263	46.264	52.42	67.508
<b>1.2</b>	21.5	31.623	38.694	47.982	55.134	62.47	80.45
<b>1.5</b>	24.865	36.571	44.75	55.49	63.761	72.25	93.039
<b>1.8</b>	28.064	41.277	50.508	62.63	71.965	81.54	105.01
<b>2.1</b>	30.021	44.155	54.029	66.997	76.983	87.23	112.33
<b>2.4</b>	31.344	46.102	56.411	69.951	80.377	91.07	117.28
<b>2.7</b>	32.783	48.217	58.999	73.16	84.065	95.25	122.67
<b>3</b>	33.678	49.534	60.612	75.159	86.362	97.85	126.02

*Nota.* Los datos obtenidos se tabularon con una probabilidad del 90%.

Esta tabla se obtiene tabulando los datos ya obtenidos para el tiempo que se necesite y con la probabilidad del 90%. De la misma tabla se procede a obtener los gráficos de distribución acumulada que pide en los objetivos.

**Figura 18**

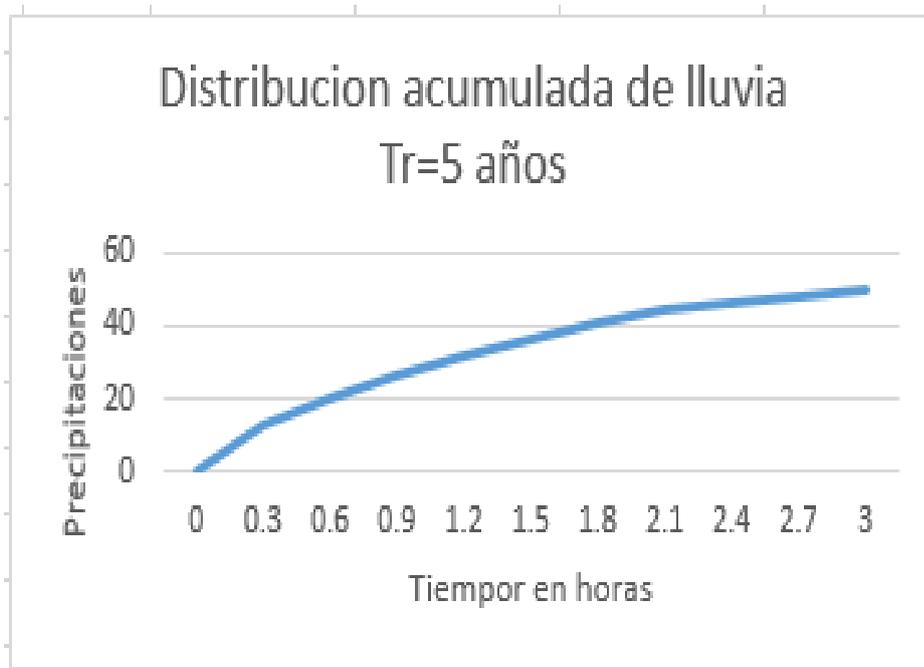
*Dispersión Tr=2 años*



*Nota.* En el siguiente grafico se observa el crecimiento ascendente de las precipitaciones, datos tomados en el transcurso de 2 años.

**Figura 19**

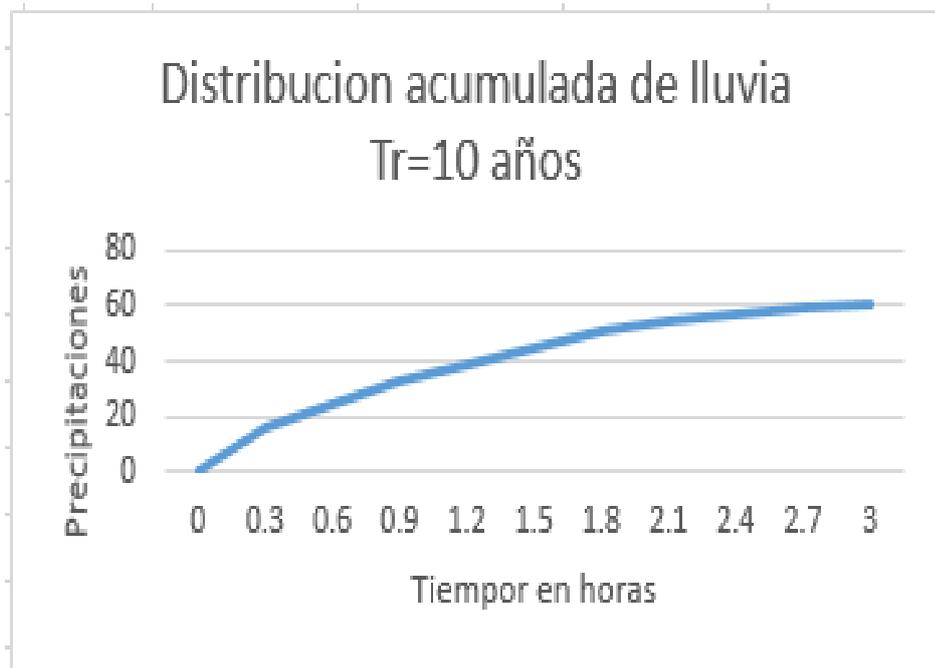
*Dispersión Tr=5 años*



*Nota.* En el siguiente grafico se observa el crecimiento ascendente de las precipitaciones, datos tomados en el transcurso de 5 años.

**Figura 20**

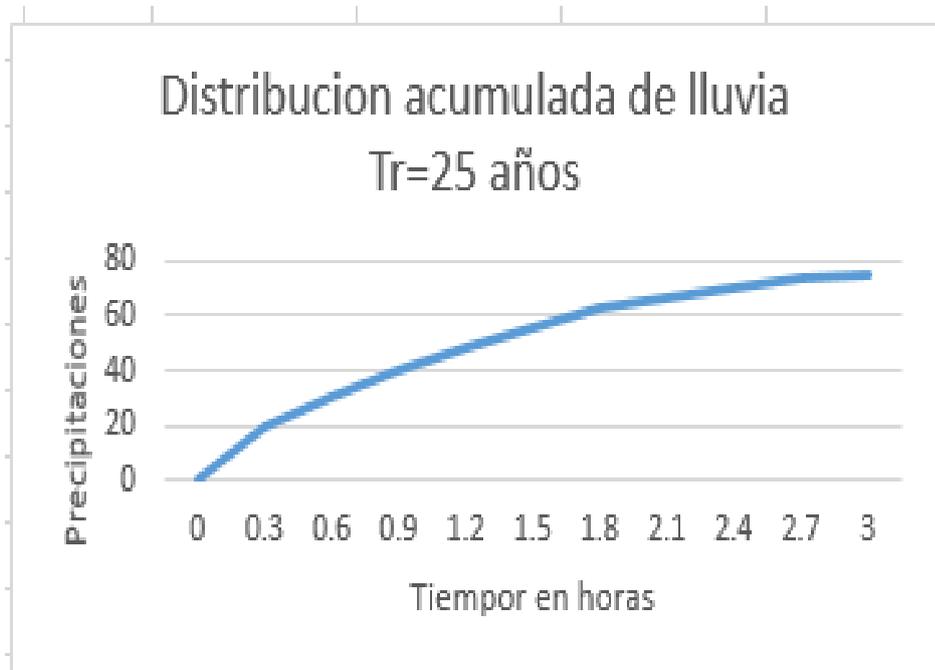
*Dispersión  $Tr=10$  años*



*Nota.* En el siguiente grafico se observa el crecimiento ascendente de las precipitaciones, datos tomados en el transcurso de 10 años.

**Figura 21**

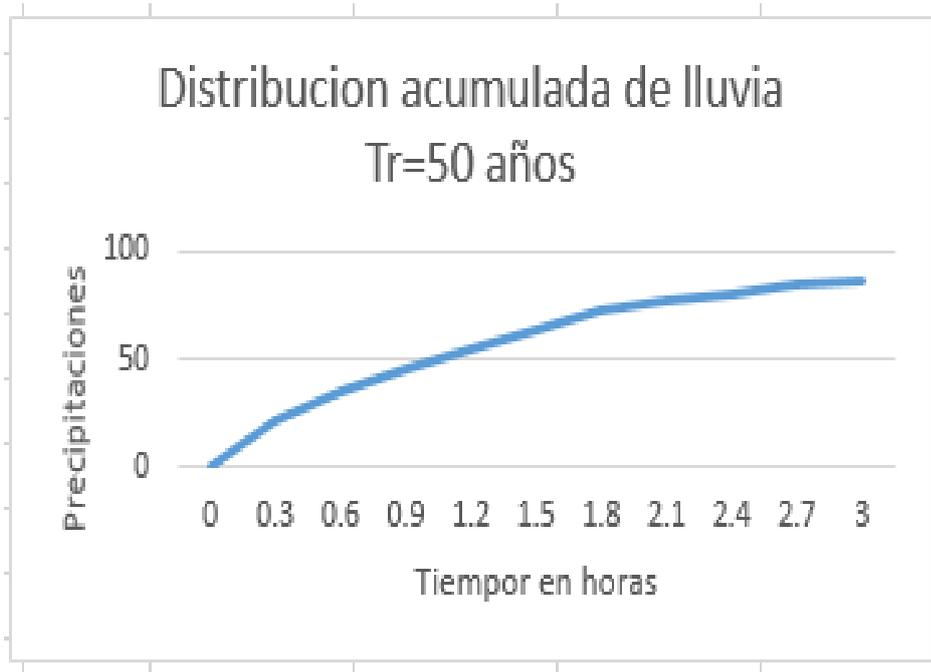
*Dispersión  $Tr=25$  años*



*Nota.* En el siguiente grafico se observa el crecimiento ascendente de las precipitaciones, datos tomados en el transcurso de 25 años.

**Figura 22**

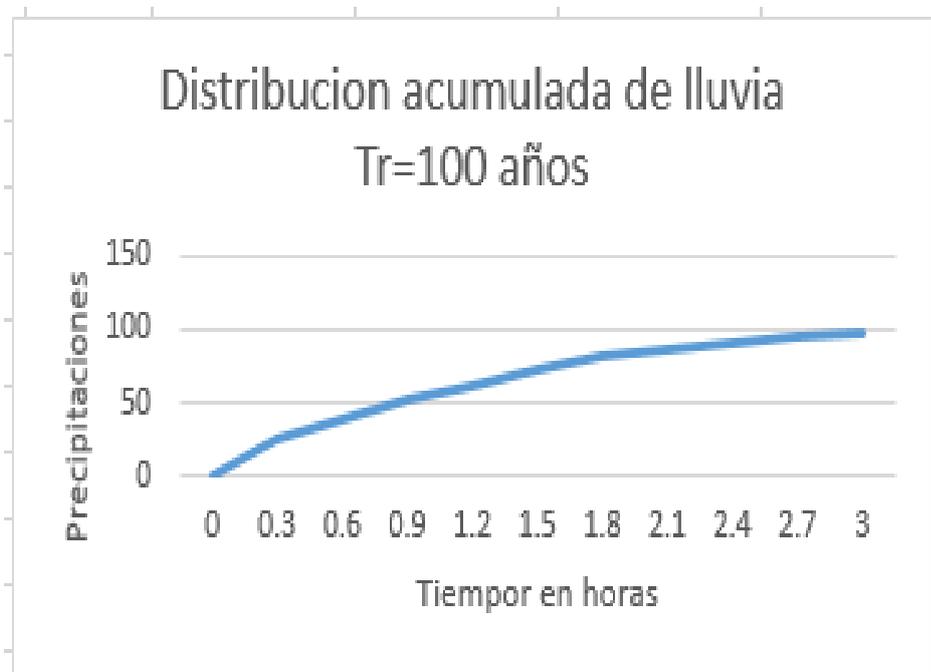
*Dispersión  $Tr=50$  años*



*Nota.* En el siguiente grafico se observa el crecimiento ascendente de las precipitaciones, datos tomados en el transcurso de 50 años.

**Figura 23**

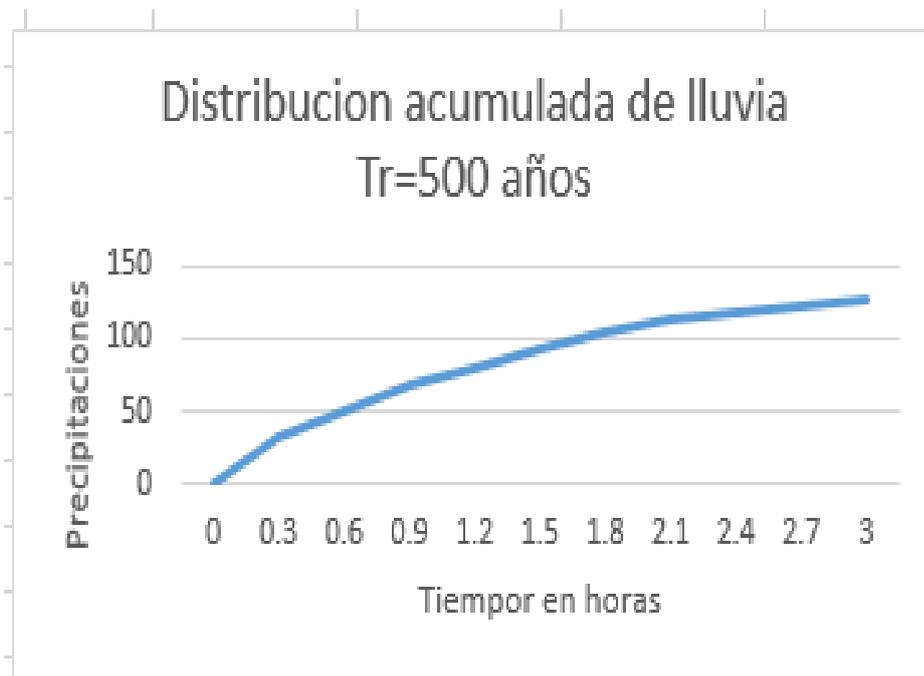
*Dispersión  $Tr=100$  años*



*Nota.* En el siguiente grafico se observa el crecimiento ascendente de las precipitaciones, datos tomados en el transcurso de 100 años.

**Figura 24**

*Dispersión  $Tr=500$  años*



*Nota.* En el siguiente grafico se observa el crecimiento ascendente de las precipitaciones, datos tomados en el transcurso de 500 años.

Después de calcular la distribución acumulada se procede a calcular las distribuciones incrementadas para cada periodo de retorno.

**Tabla 9**

*Distribución incrementada de lluvia*

Distribución incrementada de lluvia							
Tr	2	5	10	25	50	100	500
Tiempo(h oras)/P3	33.678	49.534	60.612	75.159	86.362	97.85	126.02
0	0	0	0	0	0	0	0
0.3	8.5745	12.611	15.432	19.136	21.988	24.91	32.084
0.6	5.0248	7.3905	9.043 3	11.214	12.885	14.6	18.802
0.9	4.4422	6.5336	7.9947	9.9135	11.391	12.91	16.622
1.2	3.4588	5.0872	6.2248	7.7189	8.8694	10.05	12.942
1.5	3.3645	4.9485	6.0551	7.5084	8.6276	9.776	12.589
1.8	3.1994	4.7058	5.7581	7.1401	8.2044	9.296	11.972
2.1	1.9567	2.8779	3.5215	4.3668	5.0176	5.685	7.3216

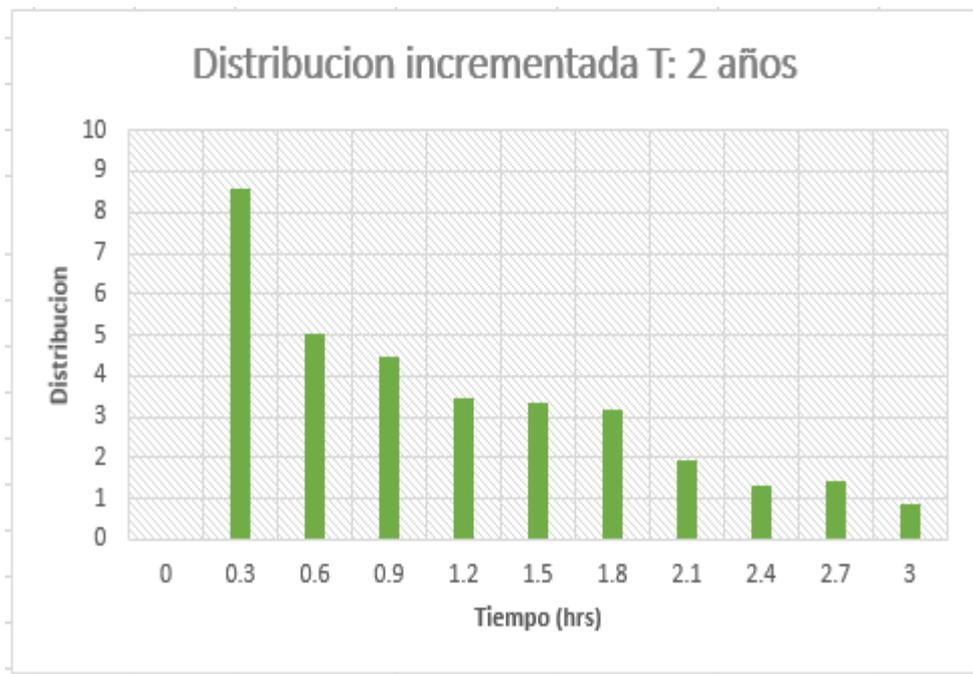
<b>2.4</b>	1.3236	1.9467	2.382	2.9538	3.394	3.846	4.9525
<b>2.7</b>	1.4381	2.1151	2.5881	3.2093	3.6877	4.178	5.381
<b>3</b>	0.8958	1.3176	1.6123	1.9992	2.2972	2.603	3.3521

*Nota.* Datos de cada periodo, donde se muestra como varía progresivamente al pasar las horas

Con la tabla mostrada se procede a calcular los gráficos de incremento para cada periodo de retorno que nos pide en los objetivos, estos gráficos muestran cómo varía progresivamente de acuerdo a las horas además que con los gráficos facilita el entendimiento de las tablas.

**Figura 25**

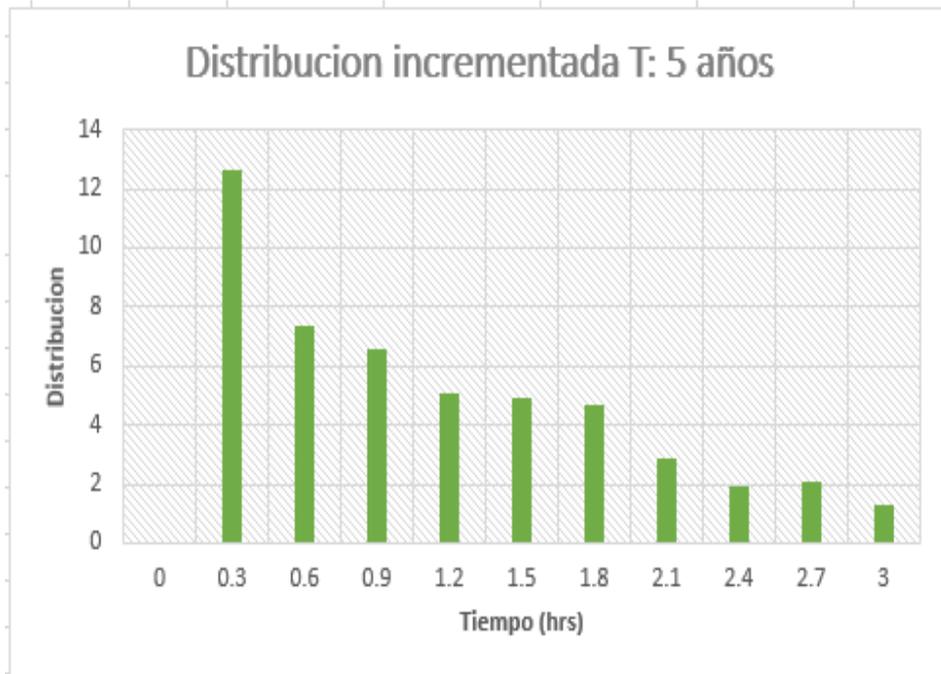
*Distribución Incrementada 2 años*



*Nota.* En el siguiente grafico se observa la incrementación para cada periodo en 2 años.

**Figura 26**

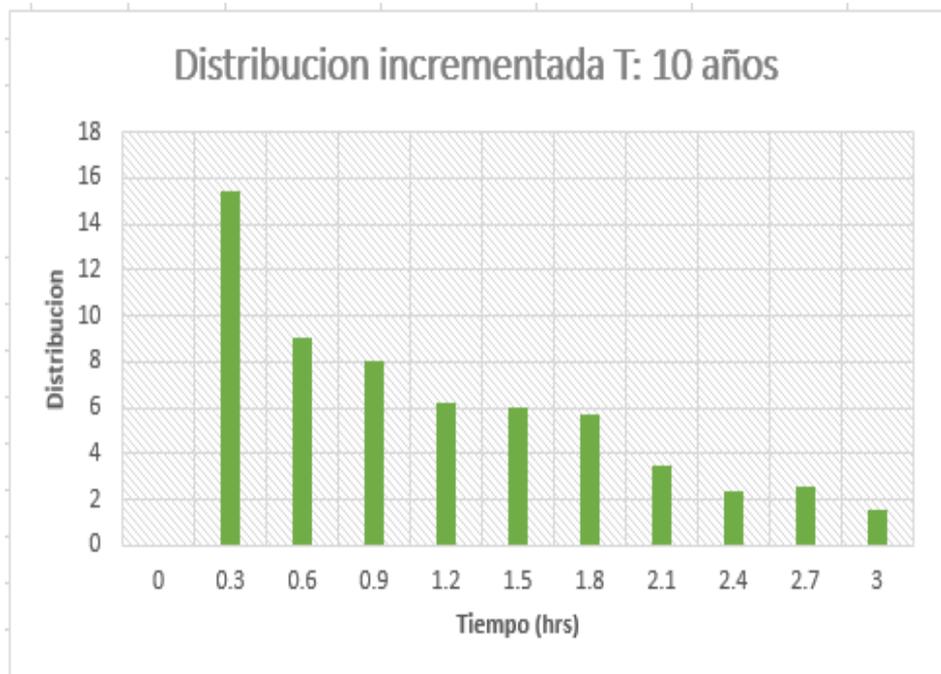
*Distribución Incrementada 5 años*



*Nota.* En el siguiente grafico se observa la incrementación para cada periodo en 5 años.

**Figura 27**

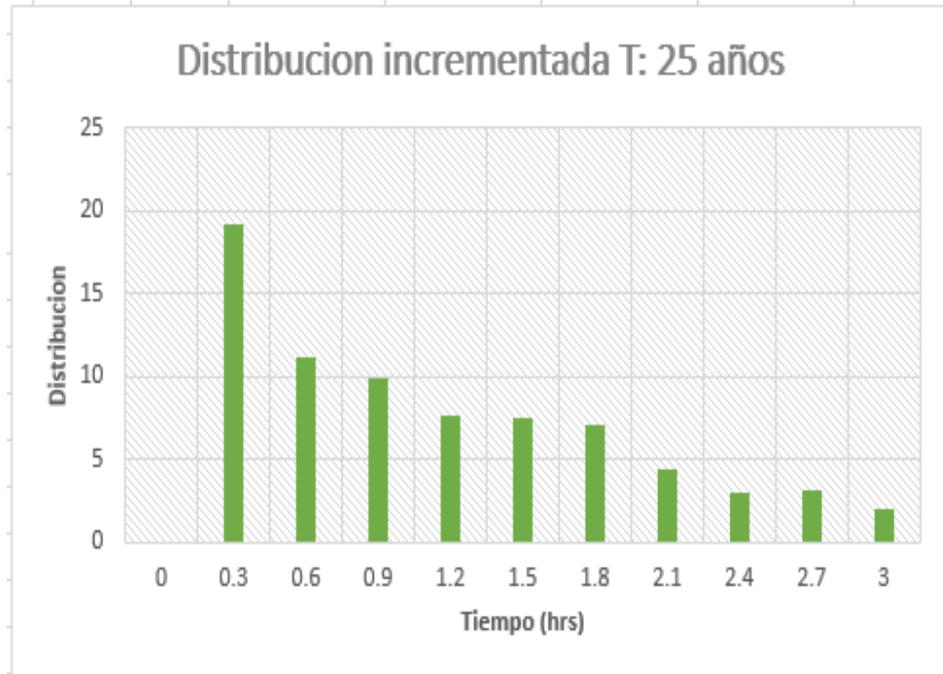
*Distribución Incrementada 10 años*



*Nota.* En el siguiente grafico se observa la incrementación para cada periodo en 10 años.

**Figura 28**

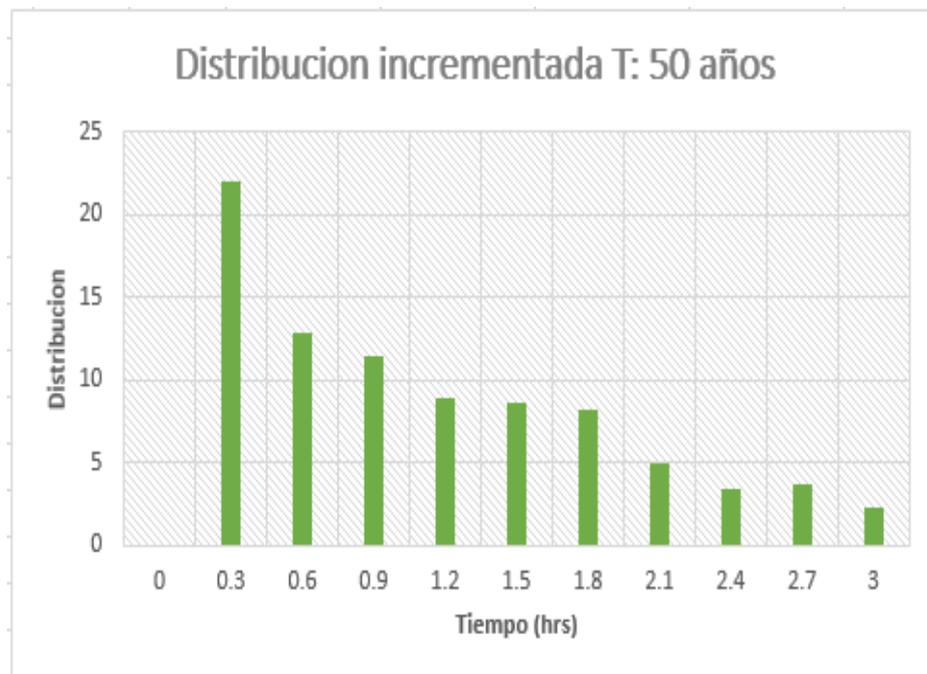
*Distribución Incrementada 25 años*



*Nota.* En el siguiente grafico se observa la incrementación para cada periodo en 25 años.

**Figura 29**

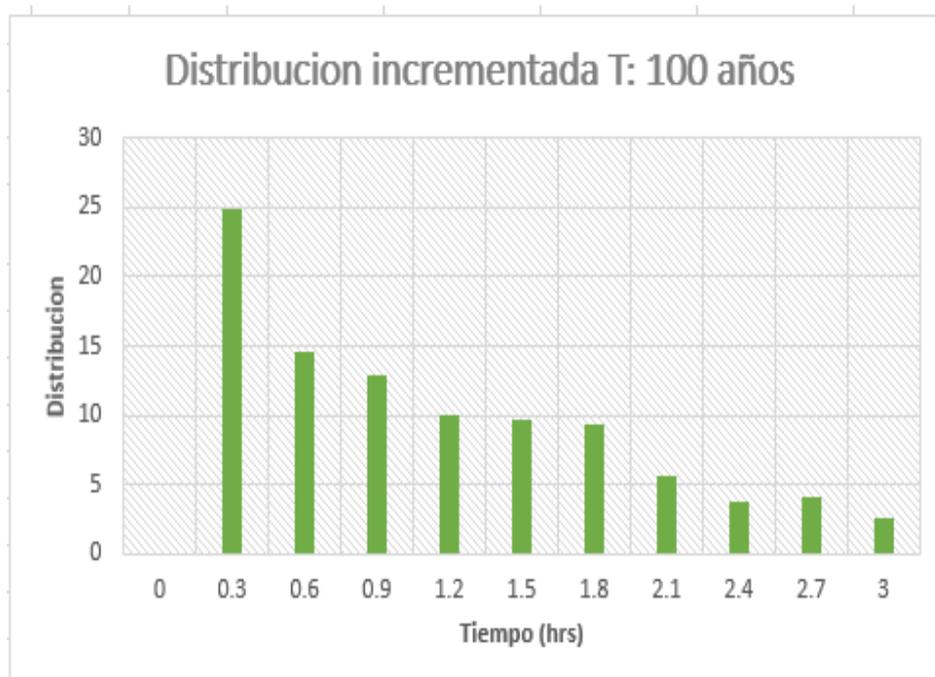
*Distribución Incrementada 50 años*



*Nota.* En el siguiente grafico se observa la incrementación para cada periodo en 50 años.

**Figura 30**

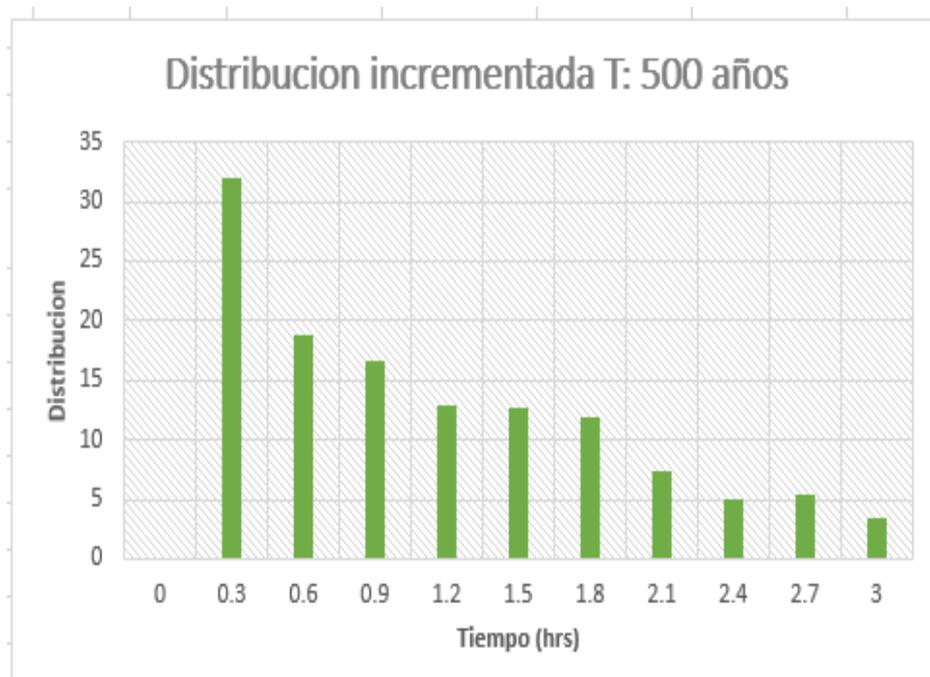
*Distribución Incrementada 100 años*



*Nota.* En el siguiente gráfico se observa la incrementación para cada periodo en 100 años.

**Figura 31**

*Distribución Incrementada 500 años*



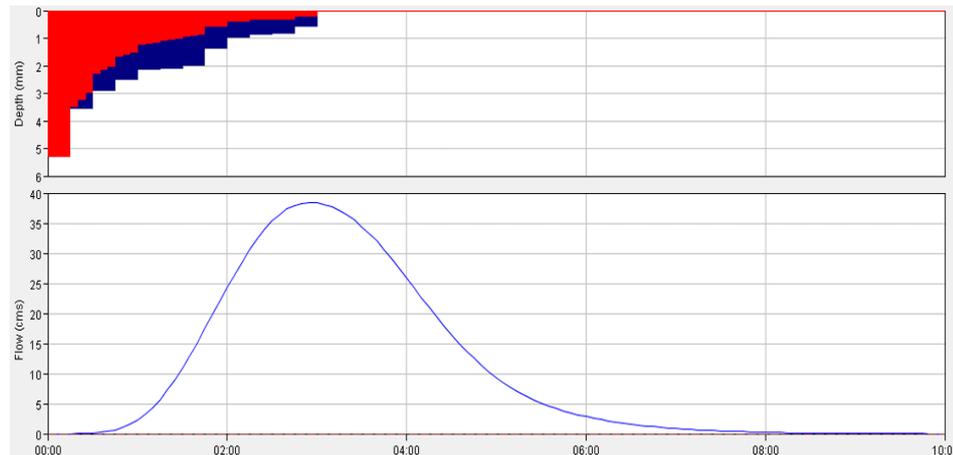
*Nota.* En el siguiente gráfico se observa la incrementación para cada periodo en 500 años.

Una vez obtenidos todos los datos necesarios y los gráficos se proceden a ingresar esos datos en el Hec-Hms y así obtener el caudal para cada periodo de retorno.

✓ **Hec-Hms**

**Figura 32**

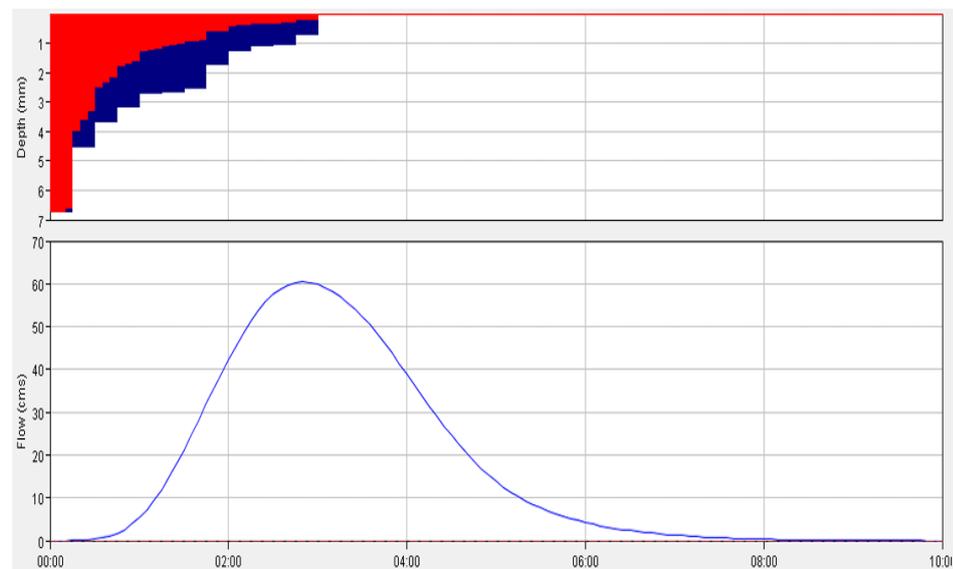
*Caudal para un Tr: 2 años*



*Nota.* En el gráfico del caudal para Tr 2 años se tiene que el caudal pico es de 37.89 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 33**

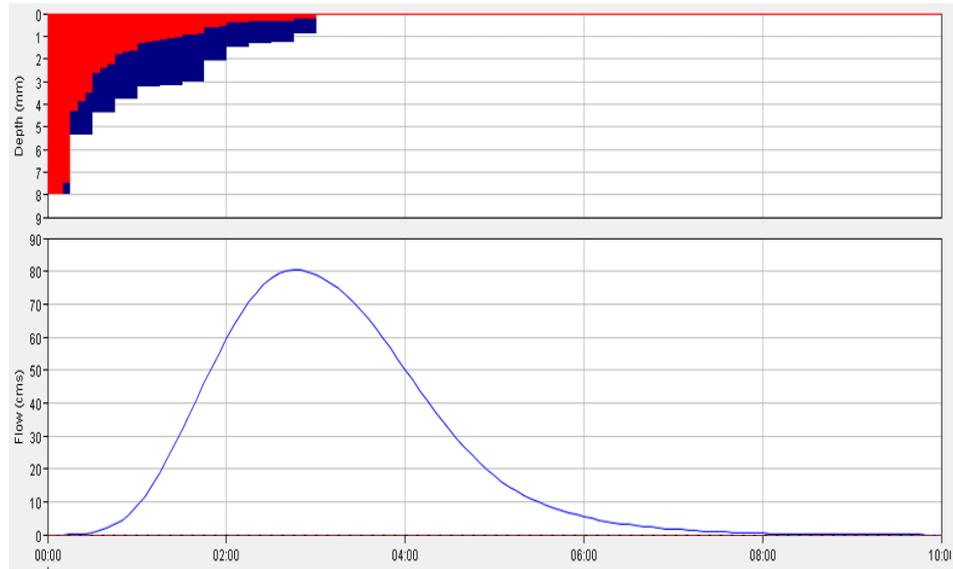
*Caudal para un Tr: 5 años*



*Nota.* En el gráfico del caudal Tr 5 años se tiene que el caudal pico es de 60.74 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 34**

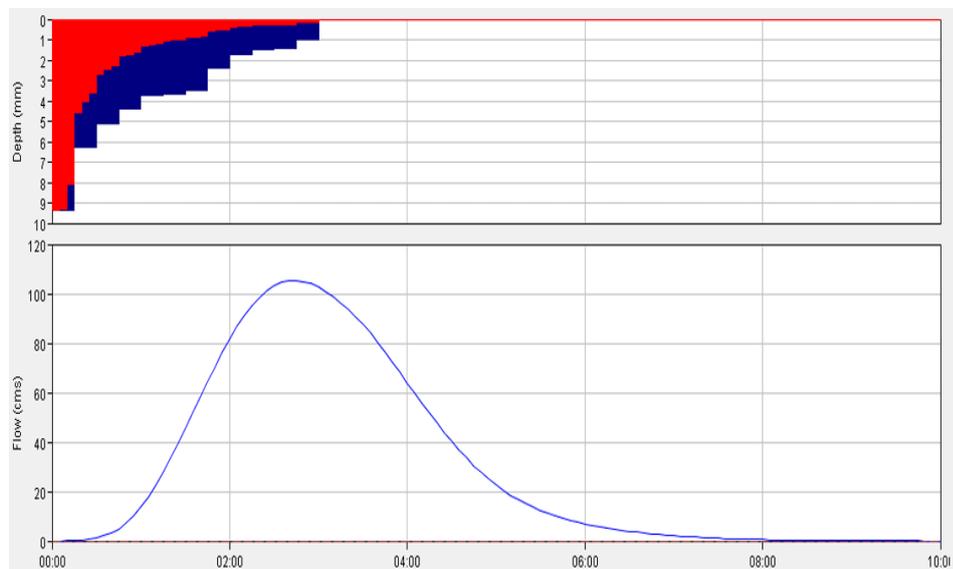
*Caudal para un Tr: 10 años*



*Nota.* En el gráfico del caudal para Tr 10 años se tiene que el caudal pico es de 80.49 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 35**

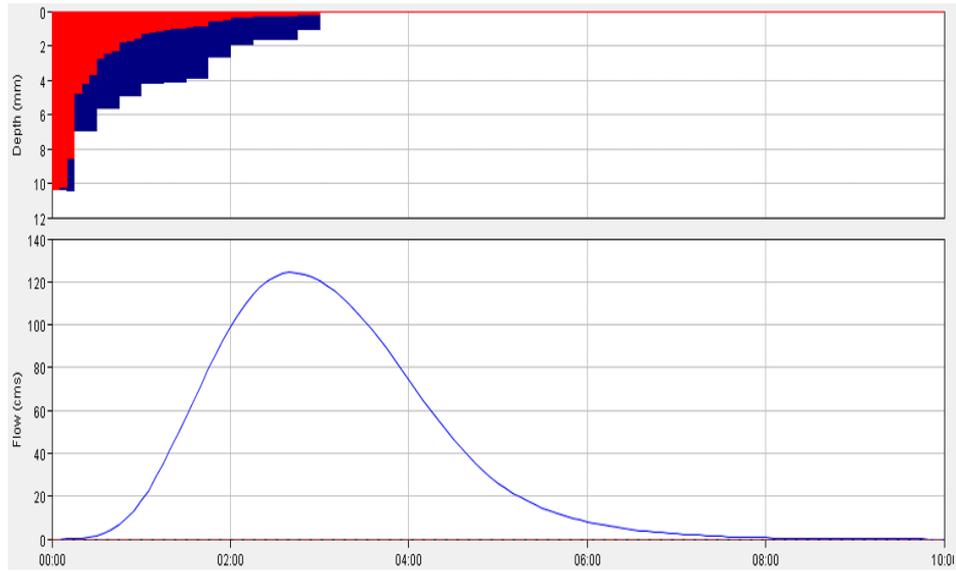
*Caudal para un Tr: 25 años*



*Nota.* En el gráfico del caudal de Tr 25 años se tiene que el caudal pico es de 110.73 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 36**

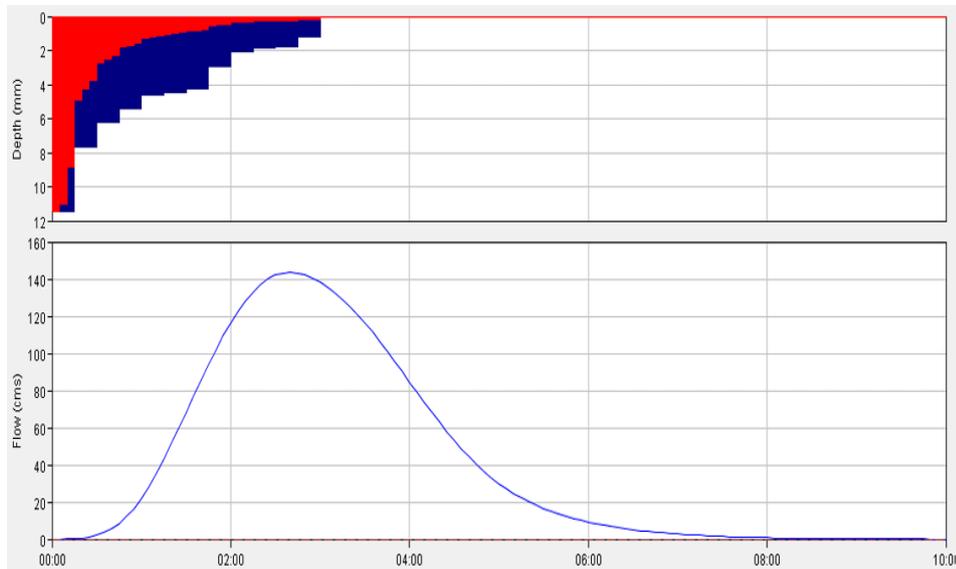
*Caudal para un Tr: 50 años*



*Nota.* En el gráfico del caudal Tr 50 años se tiene que el caudal pico es de 124.87 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 37**

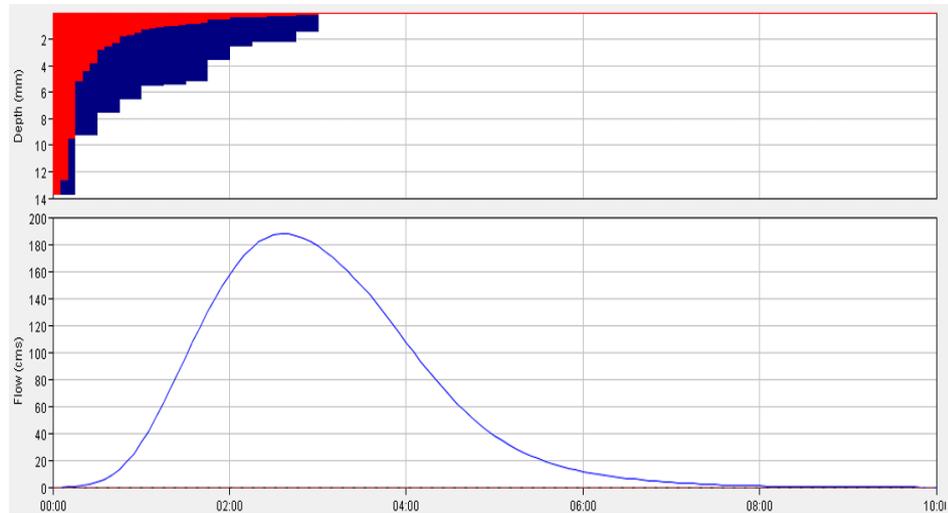
*Caudal para un Tr: 100 años*



*Nota.* En el gráfico del caudal Tr 100 años se tiene que el caudal pico es de 141.91 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 38**

*Caudal para un Tr: 500 años*

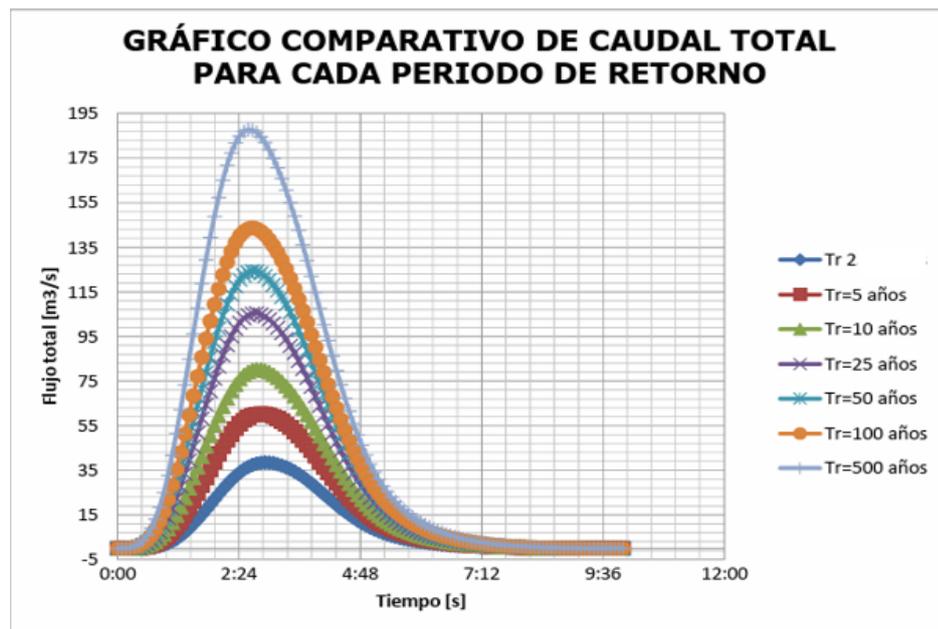


*Nota.* En el gráfico del caudal Tr 500 años se tiene que el caudal pico es de 190.19 m<sup>3</sup>/s.

Luego se procede a unir todos los caudales y tener una gráfica de la familia de caudales para cada periodo de retorno obteniendo lo siguiente:

**Figura 39**

*Caudal total para cada periodo*



*Nota.* En el siguiente grafico se puedo observar el comparativo del caudal para cada periodo de retorno.

## 4.2. PROPUESTA DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Con base en los resultados de los modelos de lluvia-escorrentía y el análisis de los hidrogramas de crecidas, se proponen las siguientes medidas de mitigación para reducir el impacto de las inundaciones en la cuenca del río Huallaga, especialmente en el sector del Puente Corpac:

### 4.2.1. INFRAESTRUCTURA DE CONTROL DE INUNDACIONES

- ✓ **Construcción de Diques y Malecones**
  - **Objetivo:** Proteger áreas urbanas y agrícolas cercanas al río.
  - **Descripción:** Levantamiento de estructuras de contención a lo largo de las zonas más vulnerables del río Huallaga para controlar el desbordamiento de agua durante las crecidas.
  - **Beneficios:** Reducción del riesgo de inundación en áreas críticas, protección de viviendas e infraestructuras esenciales.
- ✓ **Mejora y Mantenimiento de Canales de Drenaje**
  - **Objetivo:** Asegurar un drenaje eficiente del agua excedente durante eventos de crecida.
  - **Descripción:** Ampliación, limpieza y mantenimiento regular de los canales de drenaje existentes, así como la construcción de nuevos canales en áreas estratégicas.
  - **Beneficios:** Prevención de acumulaciones de agua y reducción de inundaciones en áreas urbanas y rurales.

### 4.2.2. MEDIDAS NATURALES Y ECOLÓGICAS

- ✓ **Reforestación y Protección de Cuencas Hidrográficas**
  - **Objetivo:** Mejorar la capacidad del suelo para retener agua y minimizar el escurrimiento considerable.
  - **Descripción:** Proyectos de reforestación en zonas afectadas por la degradación y custodia de bosque tropical en la cuenca del río Huallaga.

- **Ventajas:** Reducir la erosión del suelo, mejor infiltración de agua, inundaciones manejables.
- ✓ **Restauración de Humedales**
  - **Objetivo:** Aprovechar mejor la capacidad natural de los humedales para almacenar y filtrar agua.
  - **Descripción:** Restauración y Conservación de Humedales en la Cuenca del Río Huallaga para la Biodiversidad y la Función Ecológica.
  - **Beneficios:** Control de la velocidad del escurrimiento superficial y mejora de la calidad del agua.

#### 4.2.3. SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA Y PLANIFICACIÓN

- ✓ **Implementación de Sistemas de Alerta Temprana**
  - **Objetivo:** Información oportuna sobre próximas inundaciones.
  - **Descripción:** Implementación de estaciones meteorológicas y sistemas de monitoreo en la cuenca, vinculados a una red de alerta temprana que recomiende a comunidades y autoridades en tiempo real.
  - **Como:** Construir capacidad para prevenir y mitigar daños por inundaciones mediante la planificación de gestión del riesgo de inundaciones, sensibilización y educación.
  - **Beneficios:** Impacto reducido de las inundaciones sobre la vida humana y la propiedad.
  
- ✓ **Desarrollo de Planes de Contingencia y Evacuación**
  - **Objetivo:** Asegurar la seguridad de la población durante eventos de inundación.
  - **Descripción:** Rediseño de planes de contingencia para la cuenca del río Huallaga, rutas de evacuación y áreas seguras.
  - **Beneficios:** Fortalecer la resiliencia comunitaria y mitigar riesgos durante un desastre.

#### 4.2.4. EDUCACIÓN Y PARTICIPACIÓN COMUNITARIA

- ✓ **Programas de Capacitación y Sensibilización**
  - **Objetivo:** Promover una cultura de prevención de desastres y preparación.
  - **Descripción:** Organizar talleres y campañas de concienciación sobre la importancia de la gestión del riesgo de inundaciones y las medidas de mitigación.
  - **Beneficios:** Mayor capacidad de la comunidad local para abordar y adaptarse a eventos de inundación.
  
- ✓ **Participación Comunitaria en la Gestión del Agua**
  - **Objetivo:** Involucrar a la comunidad en decisiones y acciones de gestión del agua.
  - **Descripción:** Fomento de la participación de las comunidades en proyectos de reforestación, mantenimiento de canales y monitoreo ambiental.
  - **Beneficios:** Crear un sentido de responsabilidad compartida y mejorar la efectividad de las medidas de mitigación implementadas.

#### 4.2.5. INVESTIGACIÓN Y MONITOREO CONTINUO

- ✓ **Estudios Hidrológicos y Climatológicos Continuos**
  - **Objetivo:** Actualizar los datos hidrológicos y modelos de la cuenca.
  - **Descripción:** Estudios periódicos de densidad de datos de precipitaciones, cambios en el uso del suelo y respuesta hidrológica de la cuenca.
  - **Beneficios:** Mejora continua de los modelos predictivos y adaptación de las medidas de mitigación a condiciones cambiantes.
  
- ✓ **Monitoreo Ambiental Permanente**
  - **Objetivo:** Detectar cambios y tendencias en el comportamiento del río y su cuenca.

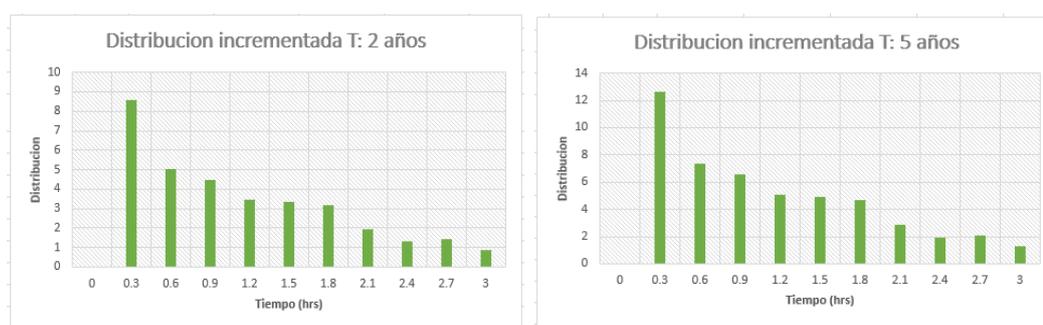
- **Descripción:** Implementación de un sistema de monitoreo ambiental que registre datos sobre caudales, calidad del agua y estado de la vegetación.
- **Beneficios:** Detección temprana de problemas y ajuste oportuno de las estrategias de gestión del riesgo.

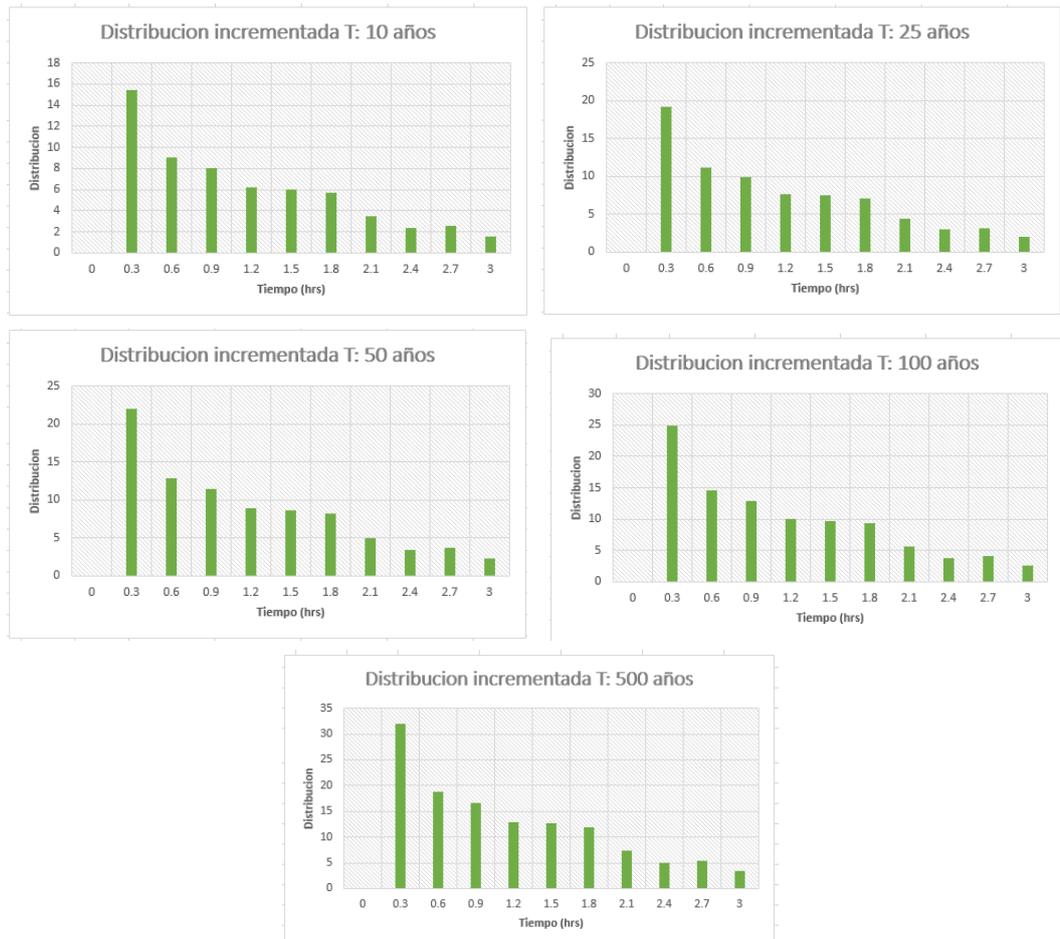
Estas propuestas de medidas de mitigación están diseñadas para abordar los diversos factores que contribuyen a las crecidas en la cuenca del río Huallaga, proporcionando un enfoque integral y sostenible para la gestión del riesgo de inundaciones.

### 4.3. CONSTATACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

**H1:** Si aplicamos los modelos de lluvia-escorrentía en los softwares Hyfran y Hec-HMS, aprovechando la información hidrometeorológica disponible en la cuenca del río Huallaga en el sector del puente Corpac, permitirá la estimación precisa de hidrogramas de crecidas para diferentes intervalos de recurrencia.

De acuerdo con lo desarrollado en la parte 4.1, se tuvo que mediante la información hidrometeorológica (tabla 4) se ingresó dichos datos en el Hyfran y se obtuvo los siguientes hidrogramas:





En el gráfico anterior se muestra los hidrogramas de crecidas para cada periodo de retorno empleando el Hyfran ahora mediante el Hec Hms se logró obtener los hidrogramas referentes al caudal para cada periodo de retorno mediante la siguiente tabla:

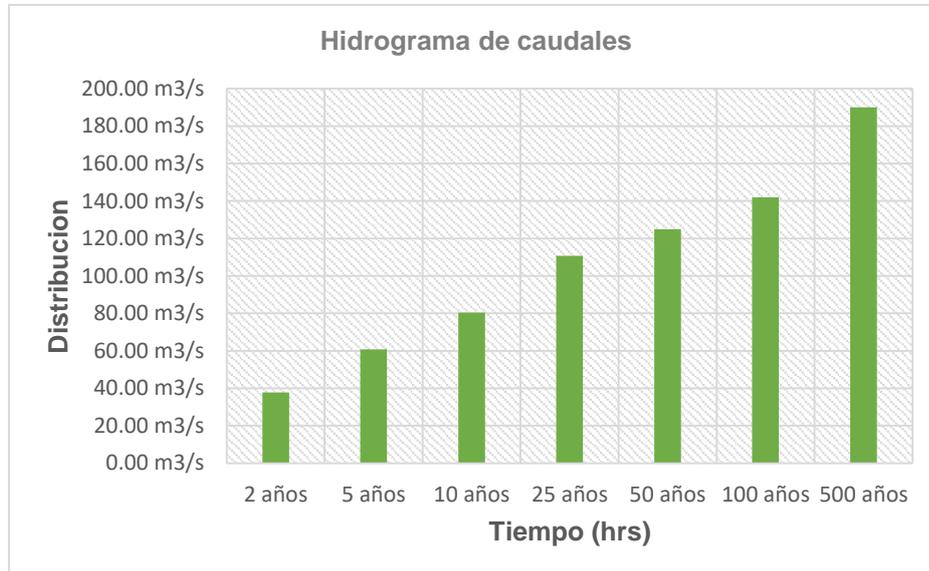
**Tabla 10**  
*Relación del caudal por  $T_r$*

<b><math>T_r</math></b>	<b>Q pico</b>
<b>2 años</b>	37.89 m <sup>3</sup> /s
<b>5 años</b>	60.74 m <sup>3</sup> /s
<b>10 años</b>	80.49 m <sup>3</sup> /s
<b>25 años</b>	110.73 m <sup>3</sup> /s
<b>50 años</b>	124.87 m <sup>3</sup> /s
<b>100 años</b>	141.91 m <sup>3</sup> /s
<b>500 años</b>	190.10 m <sup>3</sup> /s

De estos datos se procedió a obtener los hidrogramas dando el siguiente gráfico:

**Figura 40**

*Hidrograma de caudales*



*Nota.* Después de los mostrado se dice que la hipótesis es verdadera dado que mediante esos programas se logró obtener los hidrogramas de crecidas para cada periodo de retorno en diferentes resultados para el Hyfran fue en la precipitación máxima de lluvia y en el Hec-Hms fue de los caudales.

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### Precipitaciones máximas

En esta investigación se obtuvieron las siguientes precipitaciones máximas mostradas en la tabla, por meses obtenidas de la estación Tingo María, cercana a nuestro lugar de estudio.

**Tabla 11**

*Precipitaciones máximas por mes*

<b>Estación</b>	<b>Periodo</b>	<b><math>P_{máx}(mm)</math></b>
Tingo María	2022- ene	18.9
Tingo María	2022- feb	48.1
Tingo María	2022- mar	42
Tingo María	2022- abr	29
Tingo María	2022- may	91
Tingo María	2022- jun	25.4
Tingo María	2022- jul	33.3
Tingo María	2022- agt	77
Tingo María	2022- set	27.8
Tingo María	2022- oct	52.7
Tingo María	2022- nov	96
Tingo María	2022- dic	33.1
Tingo María	2023- ene	50.2
Tingo María	2023- feb	55.9
Tingo María	2023- mar	55.9
Tingo María	2023- abr	39
Tingo María	2023- may	43.4
Tingo María	2023- jun	46.7
Tingo María	2023- jul	37.8
Tingo María	2023- agt	19.3
Tingo María	2023- set	37.5
Tingo María	2023- oct	23.3
Tingo María	2023- nov	55.4
Tingo María	2023- dic	52.1

<b>Tingo María</b>	2024- ene	98
--------------------	-----------	----

*Nota.* En la tabla se muestran los datos obtenidos de precipitaciones desde el mes enero del 2022 hasta enero del 2024.

Pero para Sandoval (2022), en su investigación tuvo otros datos de precipitaciones máximas como se muestra en la siguiente tabla.  
Sandoval (2022)

**Tabla 12**

*Precipitaciones en San Rafael*

<b>Estación San Rafael</b>		
<b>N°</b>	<b>Año</b>	<b>Precip. Max</b>
1	1987	173
2	1988	42.7
3	1989	42.6
4	1990	90
5	1991	31.7
6	1992	52.2
7	1993	40
8	1994	136.5
9	1995	36.8
10	1996	22.8
11	1997	56.7
12	1998	29.4
13	1999	21.6
14	2000	25.1
15	2001	41.8
16	2002	29.9
17	2003	52.9
18	2004	29.6
19	2005	32
20	2006	28.8
21	2007	31.9
22	2008	42.1
23	2009	25.5
24	2010	25.1
25	2011	21.8
26	2012	33.5

<b>27</b>	2013	41.1
<b>28</b>	2014	33
<b>29</b>	2015	16.4
<b>30</b>	2016	28.2

*Nota.* Datos de precipitaciones. (Sandoval 2022).

Esta diferencia se debe a que los años seleccionados y la estación en elección fue San Rafael, también se enfocó en la selección de datos por años y no por meses como se hizo en este estudio.

La distribución seleccionada después del procesamiento de los datos para esta investigación mediante el uso del HidroEsta, fue de la distribución log-normal porque obtuvo el menor delta teórico siendo de 0.0911. Pero para Mamani (2020), obtuvo una distribución diferente siendo la distribución normal seleccionada, esta diferencia se debe a que Mamani realizó la prueba de bondad mediante tabulación matemática mediante fórmulas matemáticas y dichas fórmulas aplicadas en el programa Excel y así obtener el delta teórico siendo de 0.047 de la distribución normal, en nuestro caso no se hizo uso del Excel para la prueba de bondad pero se hizo uso del programa HidroEsta para evitar errores en la tabulación de las fórmulas matemáticas, cualquiera de los dos métodos es óptimo pero con el del Excel se tiene que tener más cuidado.

### **Hyfran**

Para este trabajo se empleó el Hyfran para calcular la precipitación máxima de 24 horas con la distribución Log Normal, luego se procedió a tabular y reducir para lluvias de 3 horas, se obtuvo los siguientes datos:

**Tabla 13**

*Precipitación de 24 a 3 horas*

<b>Tr</b>	<b><math>P_{m\acute{a}x24}</math></b>	<b><math>P_{m\acute{a}x3}</math></b>
10000.00	236.48	185.258432
2000.00	194.32	152.230288
1000.00	178.28	139.664552
500.00	160.86	126.017724

200.00	140.04	109.707336
100.00	124.91	97.854494
50.00	110.24	86.362016
25.00	95.94	75.159396
20.00	91.39	71.594926
10.00	77.37	60.611658
5.00	63.23	49.534382
3.00	52.37	41.026658
2.30	46.34	36.302756
2.00	42.99	36.678366

*Nota.* En la tabla se muestran los resultados de precipitación de 3 horas.

Para Zarate (2020) realizó solo la propuesta para una lluvia de 24 horas, pero empleó la distribución de Gumbel debido a que fue la elegida para este estudio obteniendo los siguientes datos:

**Tabla 14**

*Precipitaciones de 24 horas*

<b>Tr</b>	<b>q</b>	<b><math>P_{m\acute{a}x}^{24}</math></b>
10000.0	0.9999	324
2000.0	0.9995	285
1000.0	0.9990	268
500.0	0.9980	2551
200.0	0.9950	227
100.0	0.9900	209
50.0	0.9800	190
25.0	0.9600	171
20.0	0.9500	165
10.0	0.9000	145
5.0	0.8000	123
3.0	0.6667	106
2.3	0.5708	96.8
2.0	0.5000	90.6

*Nota.* En la tabla se muestran los datos de precipitaciones durante 24 horas, distribución de Gumbel (Zarate, 2020).

La diferencia de Zarate que realizo el estudio en 24 horas fue porque el lugar de estudio de Zarate no cuenta con aguaceros como se presenta en nuestro lugar de estudio.

### ***Hec-Hms***

El caudal que se obtuvo después de ingresar en los datos en el Hec-Hms fueron:

**Tabla 15**

*Caudal*

<b>Tr</b>	<b>Q pico</b>
<b>2 años</b>	37.89 m3/s
<b>5 años</b>	60.74 m3/s
<b>10 años</b>	80.49 m3/s
<b>25 años</b>	110.73 m3/s
<b>50 años</b>	124.87 m3/s
<b>100 años</b>	141.91 m3/s
<b>500 años</b>	190.10 m3/s

*Nota.* Datos del caudal que se obtuvo después de ingresarlo en Hec-Hms.

Pero para Ramirez (2019) solo se enfocó en el estudio de 50 años por ende su caudal de estudio fue de enfocado en ese periodo de retorno siendo de 248.4 m3/s.

## CONCLUSIONES

Los datos de precipitación máxima 18.9, 48.1, 42, 29, 91, 25.4, 33.3, 77, 27.8, 52.7, 96, 33.1, 50.2, 55.9, 55.9, 39, 43.4, 46.7, 37.8, 19.3, 37.5, 23.3, 55.4, 52.1, 98 para los meses de enero a diciembre del año 2022 y 2023, también se consideró el mes de enero del año 2024.

Se obtuvo una distribución de log normal con un delta teórico siendo de 0.0911.

Los hidrogramas obtenidos del incremento de las precipitaciones para cada periodo de retorno se tienen en las figuras 25 hasta el 31, donde se tiene para cada periodo de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años.

El caudal que se obtuvo después de ingresar en los datos en el Hec-Hms fue de 37.89 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 2 años, para un periodo de retorno de 5 años se tuvo un caudal de 60.74 m<sup>3</sup>/s, para tr=10 años se obtuvo un caudal 80.49 m<sup>3</sup>/s, para tr=25 años se obtuvo un caudal de 110.73 m<sup>3</sup>/s, para tr=50 años se obtuvo un caudal de 124.87 m<sup>3</sup>/s, para un tr=100 años se obtuvo un caudal de 141.91 m<sup>3</sup>/s y para tr= de 500 años se obtuvo un caudal de 190.10 m<sup>3</sup>/s.

## RECOMENDACIONES

Es fundamental realizar una validación exhaustiva de los modelos HyFRAN y HEC-HMS utilizando datos observados de caudales y eventos de crecidas previamente registrados en la cuenca del Río Huallaga en el Sector del Puente CORPAC. Esta validación ayudará a determinar la precisión y la confiabilidad de los resultados obtenidos a partir de los modelos.

Se sugiere realizar una evaluación de diferentes escenarios hidrológicos utilizando los modelos HyFRAN y HEC-HMS. Estos escenarios podrían incluir diferentes condiciones de precipitación, tiempo de retorno, entre otros, con el fin de comprender cómo estos factores pueden influir en la generación de hidrogramas de crecidas en la cuenca del río Huallaga.

Es importante discutir los resultados obtenidos de los modelos HyFRAN y HEC-HMS para identificar similitudes, diferencias y posibles sesgos entre otros autores que realizaron el mismo estudio con diferentes lugares o métodos.

Se recomienda documentar de manera detallada todos los pasos del proceso de modelado, incluyendo la selección de datos, la calibración de los modelos, los supuestos realizados y las limitaciones encontradas. Esta documentación será fundamental para la reproducibilidad y la transparencia de la investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuja, S. E. (2018). *SENSIBILIDAD DEL FRM A LA MICROFÍSICA Y LA CAPA LÍMITE PLANETARIA A ESCALA DE MICROCUENCA: EL CASO DE LA CUENCA DE QUINUAS EN LOS ANDES TROPICALES DEL ECUADOR*. Ecuador.
- Breña, A. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. México.
- Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá: Mc Graw Hill.
- Flores, M. I. (2018). *Generación de hidrogramas de crecida mediante simulación estocástica multivariada de lluvia y modelación hidrológica distribuida. Aplicación a seguridad de presas*. España.
- García, R. L. (2020). *Propuesta y análisis de metodologías para la evaluación de recursos mediante modelos precipitación-escorrentía*. Valencia - España.
- HEC - HMS. (2015). *Hec-Hms Manual*.
- Hernández, R. F. (2014). *Metodología de la Investigación*. (6ta ed.). México D.F: McGraw-Hill.
- Hernández, S. R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill.
- INDECI. (2018). *Emergencias ordenadas por fecha*. Obtenido de Instituto Nacional de Defensa Civil: <http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/mapa/ListadoEmergencias.asp?e>
- Julcamoro, J. F. (2017). *Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca del río el Tuyo en el distrito de Catilluc, provincia de San Miguel – Cajamarca, 2017*. Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. Cajamarca - Perú.

- Mamani, M. E. (2020). *APLICACIÓN DE UN MODELO HIDROLÓGICO AGREGADO LLUVIA - ESCORRENTÍA A PASO DE TIEMPO MENSUAL EN LA CUENCA DEL RÍO CALLACAME, PERÚ*. Piura.
- Martinez, A. V. (1999). *Simulación y comprobación experimental de la escorrentía superficial en pequeñas cuencas no aforadas mediante modelos distribuidos implementados sobre el SIG*. Madrid.
- Ortiz, S. O. (2016). *Similitud hidráulica de sistemas hidrológicos altoandinos y transferencia de información hidrometeorológica*. Lima-Perú.
- Paredes, J., Solera, A., & Andreu, J. &. (2014). *Herramienta EvalHid para evaluación de Recursos Hídricos*. España.
- Puig, B. M. (2018). *Modelización hidrológica distribuida con esquemas en volúmenes finitos*. Coruña.
- Quispe, A. (2014). *Generación de caudales medios mensuales en la cuenca del río Huancane mediante un modelo paramétrico*.
- Ramírez, M., Ghanem, A., & Lárez, H. (2006). *Estudio comparativo de los diferentes métodos utilizados para la predicción de intensidades máximas de precipitación para el diseño adecuado de estructuras hidráulicas*. Venezuela.
- Ramirez, Q. R. (2019). *Simulación De Lluvia Escorrentia Para El Óptimo Funcionamiento De Estructuras De Captación En La Cuenca Urbana Del Centro Histórico De Huancavelica*. Huancavelica, Perú.
- Sandoval, P. K. (2022). *DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO CON APLICACIÓN DEL SOFTWARE ILWIS PARA MEJORAR EL DIMENSIONAMIENTO DE NUEVAS OBRAS HIDRÁULICAS EN LA SUBCUENCA BLANCO EN AMBO*.
- Texas Highway departament. (1970). *Drainage Manual*.
- Villodas, R. (2008). *Hidrología*. Facultad de ingeniería Civil UNC.
- Zárate, R. O. (2020). *MODELADO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL DRENAJE PLUVIAL MEDIANTE EL SOFTWARE SWMM PARA LA*

URBANIZACIÓN MONTERRICO DE LA CIUDAD JAÉN -  
CAJAMARCA. Jaén - Perú.

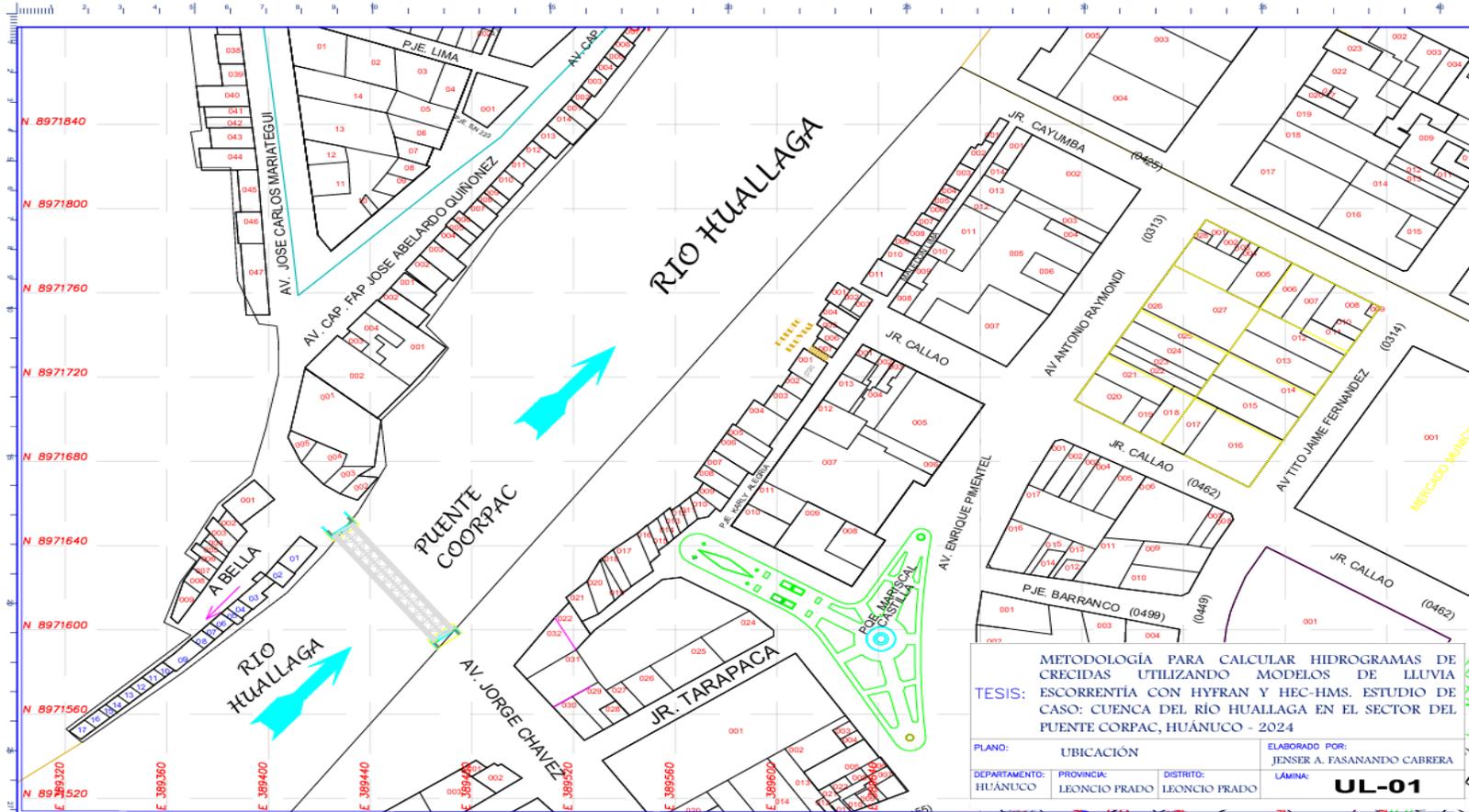
**COMO CITAR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Fasanando Cabrera, J.A. (2025). *Metodología para calcular hidrogramas de crecidas utilizando modelos de lluvia escorrentía con Hyfran y Hec-Hms, estudio de caso: cuenca del río Huallaga en el sector del puente Corpac, Huánuco - 2024 [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH.[htt://...](#)*

## **ANEXOS**

# ANEXO 1

## PLANO DE UBICACIÓN DEL PROYECTO



## ANEXO 2

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

“METODOLOGÍA PARA CALCULAR HIDROGRAMAS DE CRECIDAS UTILIZANDO MODELOS DE LLUVIA ESCORRENTÍA CON HYFRAN Y HEC-HMS. ESTUDIO DE CASO: CUENCA DEL RÍO HUALLAGA EN EL SECTOR DEL PUENTE CORPAC, HUÁNUCO - 2024”

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables / indicadores	Método
¿Cómo se comportan los hidrogramas de crecidas aplicando modelos de lluvia-escorrentía utilizando los softwares Hyfran y Hec-HMS, aprovechando la información hidrometeorológica disponible en la cuenca del río Huallaga en el sector del puente Corpac, en la ciudad de Tingo María?	Determinar el comportamiento de los hidrogramas de crecidas aplicando modelos de lluvia-escorrentía utilizando los softwares Hyfran y Hec-HMS, aprovechando la información hidrometeorológica disponible en la cuenca del río Huallaga en el sector del puente Corpac, en la ciudad de Tingo María.	<b>H1:</b> Si aplicamos los modelos de lluvia-escorrentía en los softwares Hyfran y Hec-HMS, aprovechando la información hidrometeorológica disponible en la cuenca del río Huallaga en el sector del puente Corpac, permitirá la estimación precisa de hidrogramas de crecidas para diferentes intervalos de recurrencia.	<b>Variable dependiente</b>  Calculo precisa de hidrogramas de crecidas por el método de lluvia-escorrentía	<b>Nivel</b> Nivel descriptivo, dado que se abordaron dos variables complejas con indicadores cuantitativos de manera secuencial, sin la intención principal de establecer una relación específica entre ambas variables  <b>Enfoque</b> enfoque cuantitativo, ya que se centrará en el análisis de componentes que pueden ser evaluados, medidos y expresados en términos numéricos.  <b>Diseño</b> el diseño documental y el diseño de campo. Esto implica que se utilizaran tanto datos extraídos de fuentes literarias ya existentes (datos secundarios) como datos recopilados directamente de fuentes primarias para lograr cada uno de los objetivos específicos del estudio.
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>			
¿Cuáles es el procedimiento adecuado para generar los hidrogramas de crecidas	Identificar el procedimiento de utilización de los softwares Hec-HMS y Hyfran para la generación de los hidrogramas en la		<b>Variable Independiente</b>  Implementación de las herramientas de	

<p>mediante las aplicaciones Hec-HMS y Hyfran?</p>	<p>cuenca del Huallaga en la ciudad de Tingo María.</p>	<p><b>Población:</b> la cuenca del Huallaga en la ciudad de Tingo María, en la provincia de Leoncio Prado en el departamento de Huánuco.</p>	<p>software Hyfran y Hec-HMS.</p>	<p><b>Población</b> población de análisis abarcará la cuenca del Huallaga en la ciudad de Tingo María, en la provincia de Leoncio Prado en el departamento de Huánuco.</p>
<p>¿Cómo se presentan visualmente los resultados y se resumen las tabulaciones realizadas en cada uno de los métodos de estimación de hidrogramas presentados en el proyecto en la cuenca del Huallaga en la ciudad de Tingo María?</p>	<p>Representar gráficamente los análisis y resumir las tabulaciones efectuadas en cada uno de los métodos de estimación de hidrogramas en el proyecto en la cuenca del Huallaga en la ciudad de Tingo María.</p>	<p><b>Muestra:</b> los datos recopilados de la población en la cuenca del Huallaga, específicamente en el tramo del puente corpac. Tingo María</p>	<p><b>Muestra</b> La muestra se utiliza para reconocer los atributos particulares de la población según ciertas cualidades. Por lo tanto, este estudio tomará como muestra los datos recopilados de la población en la cuenca del Huallaga, específicamente en el tramo del puente Corpac.</p>	
<p>¿Puede proporcionar una ilustración práctica de la aplicación de la modelación de hidrogramas en el contexto de la cuenca del río Huallaga en la cuenca del Huallaga en la ciudad de Tingo María y proponer medidas de mitigación?</p>	<p>Realizar una breve ilustración práctica de la aplicación de la modelación de hidrogramas en el contexto de la cuenca del río Huallaga en la cuenca del Huallaga en la ciudad de Tingo María y proponer medidas de mitigación.</p>	<p><b>Muestra:</b> los datos recopilados de la población en la cuenca del Huallaga, específicamente en el tramo del puente corpac. Tingo María</p>		



**Figura 43**

Periodo 2022-01

Grafico Tabla

**Estación : TINGO MARIA**

Departamento : HUANUCO      Provincia : LEONCIO PRADO      Distrito : RUPA-RUPA      Ir : 2022-01  
 Latitud : 9°18'36.6" S      Longitud : 76°0'1.8" W      Altitud : 657 msnm.  
 Tipo : Convencional - Meteorológica      Código : 109027

Exportar a Excel    Exportar a CSV

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
2022-01-01	33.5	21	83.6	1.6
2022-01-02	34.5	23	76.6	7.0
2022-01-03	34.2	23.3	78.8	0.0
2022-01-04	32.8	22.5	79.7	0.4
2022-01-05	32.5	21.4	79.7	6.2
2022-01-06	29.5	21.3	86.5	9.7
2022-01-07	33.2	19.7	77.3	18.9
2022-01-08	32.9	21.5	81.0	13.3
2022-01-09	29.5	21.3	82.3	1.6
2022-01-10	29.9	20.6	85.8	16.7
2022-01-11	23.8	20.6	94.1	3.7
2022-01-12	31.5	19.9	79.6	2.1
2022-01-13	26	19.4	88.1	0.8

**Figura 44**

Periodo 2022-02

Grafico Tabla

**Estación : TINGO MARIA**

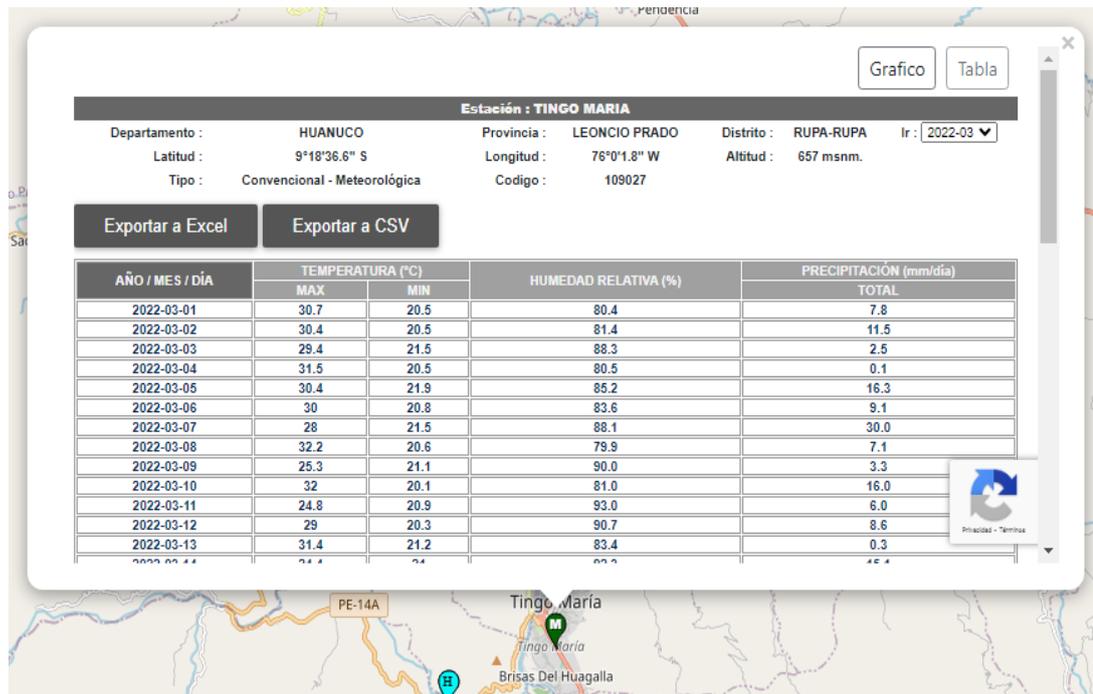
Departamento : HUANUCO      Provincia : LEONCIO PRADO      Distrito : RUPA-RUPA      Ir : 2022-02  
 Latitud : 9°18'36.6" S      Longitud : 76°0'1.8" W      Altitud : 657 msnm.  
 Tipo : Convencional - Meteorológica      Código : 109027

Exportar a Excel    Exportar a CSV

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
2022-02-01	26.7	S/D	S/D	41.3
2022-02-02	24.5	20	88.4	12.5
2022-02-03	29.5	19.1	86.3	12.0
2022-02-04	30.3	20.2	80.7	0.0
2022-02-05	32.5	20.8	81.2	46.5
2022-02-06	27.8	20.5	83.3	1.1
2022-02-07	25.8	21.3	91.9	26.1
2022-02-08	31.2	20.3	84.9	48.1
2022-02-09	29	21	88.5	22.2
2022-02-10	25.4	21.3	94.2	41.0
2022-02-11	32.3	20.1	80.3	42.0
2022-02-12	30	19.8	84.9	22.6
2022-02-13	30.1	20	80.5	11.6
2022-02-14	30.2	21	85.4	8.1
2022-02-15	25.8	20.5	90.1	13.2
2022-02-16	29.8	21.2	84.8	38.4

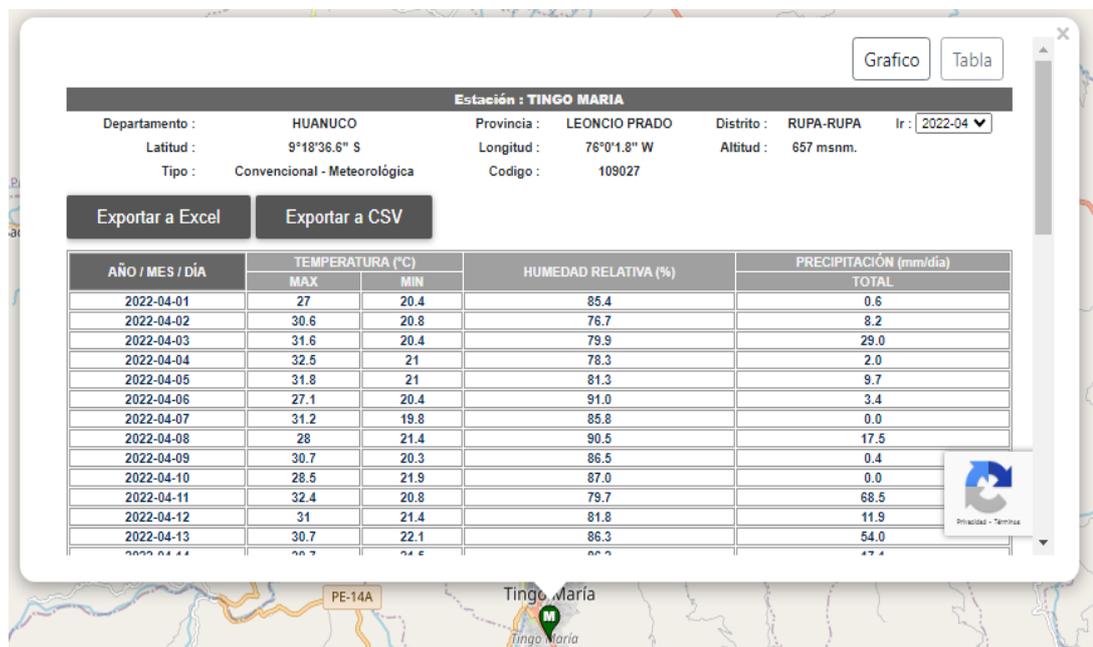
**Figura 45**

Periodo 2022-03



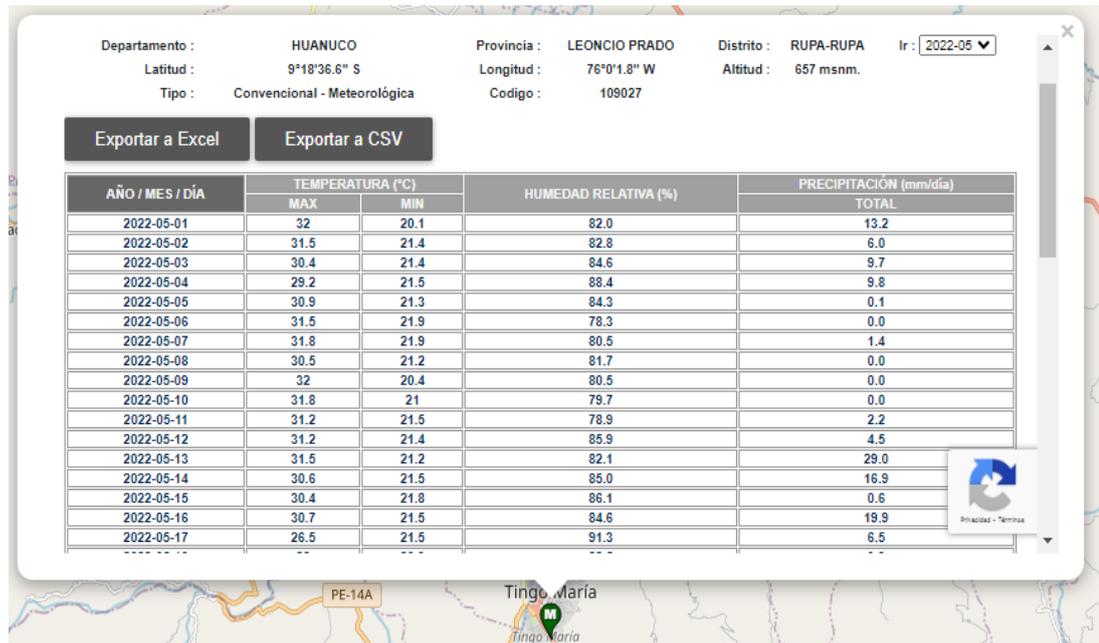
**Figura 46**

Periodo 2022-04



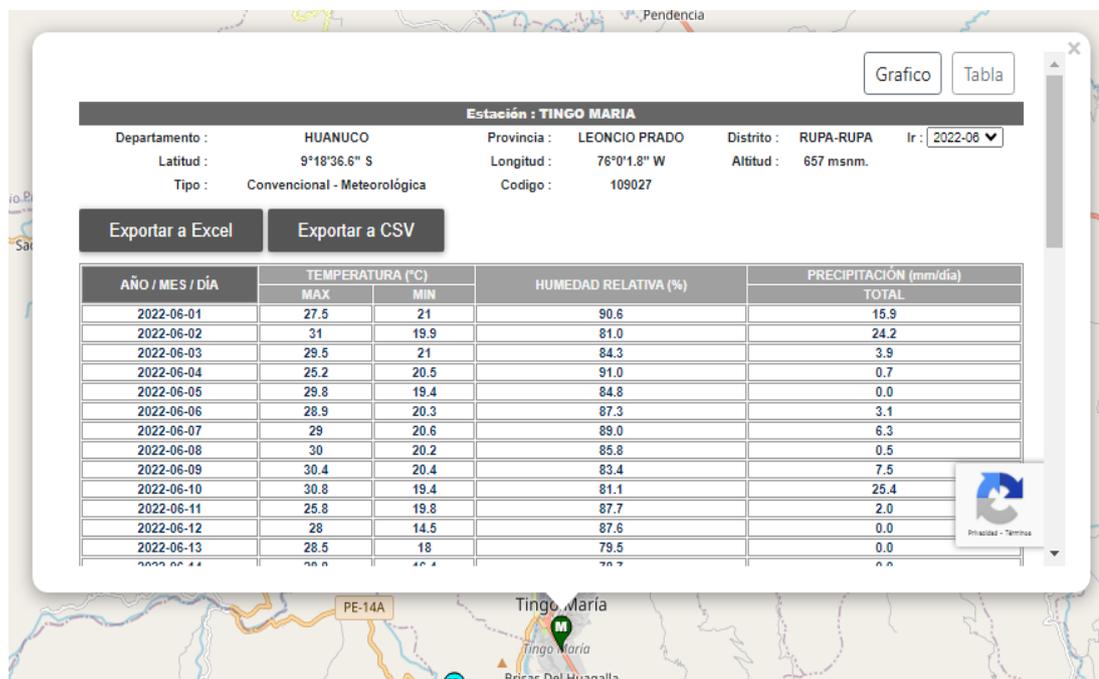
**Figura 47**

Periodo 2022-05



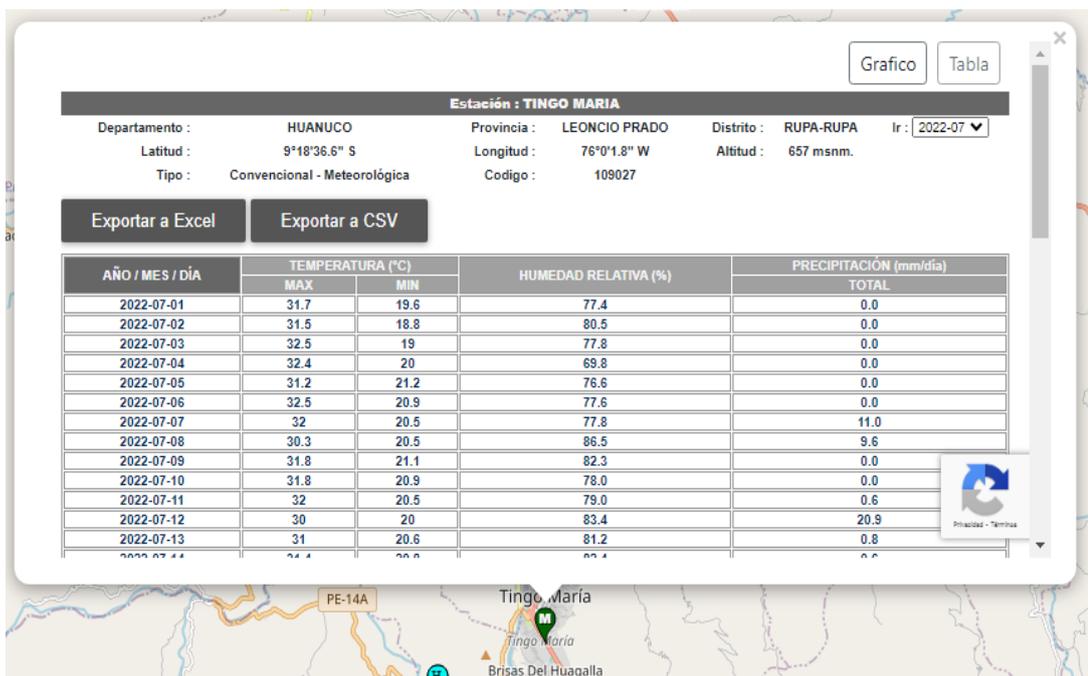
**Figura 48**

Periodo 2022-06



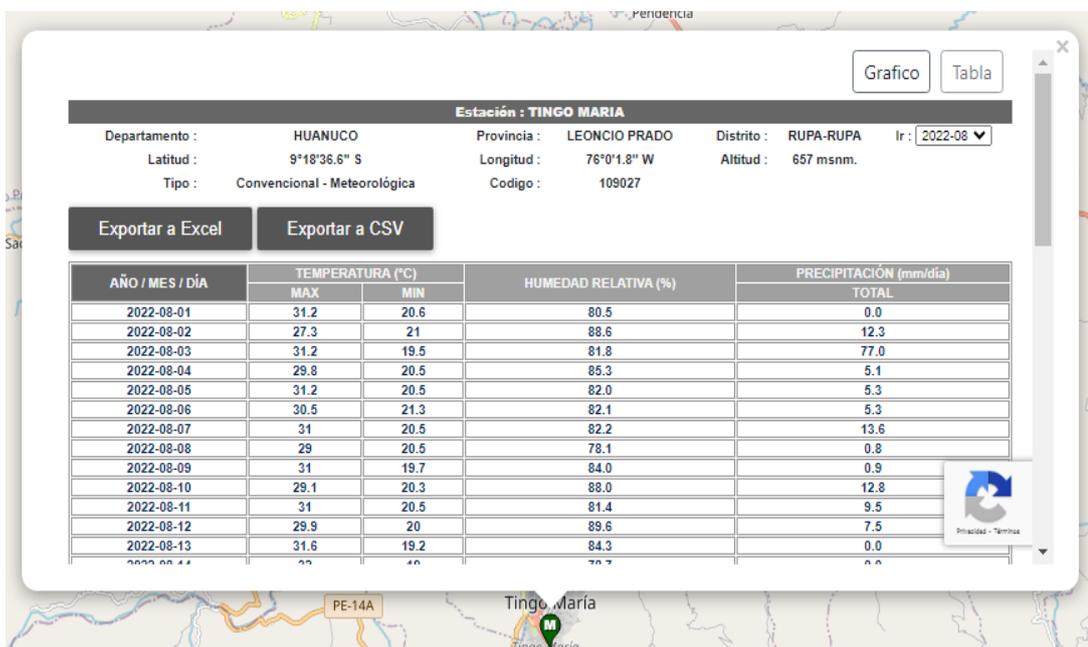
**Figura 49**

Periodo 2022-07



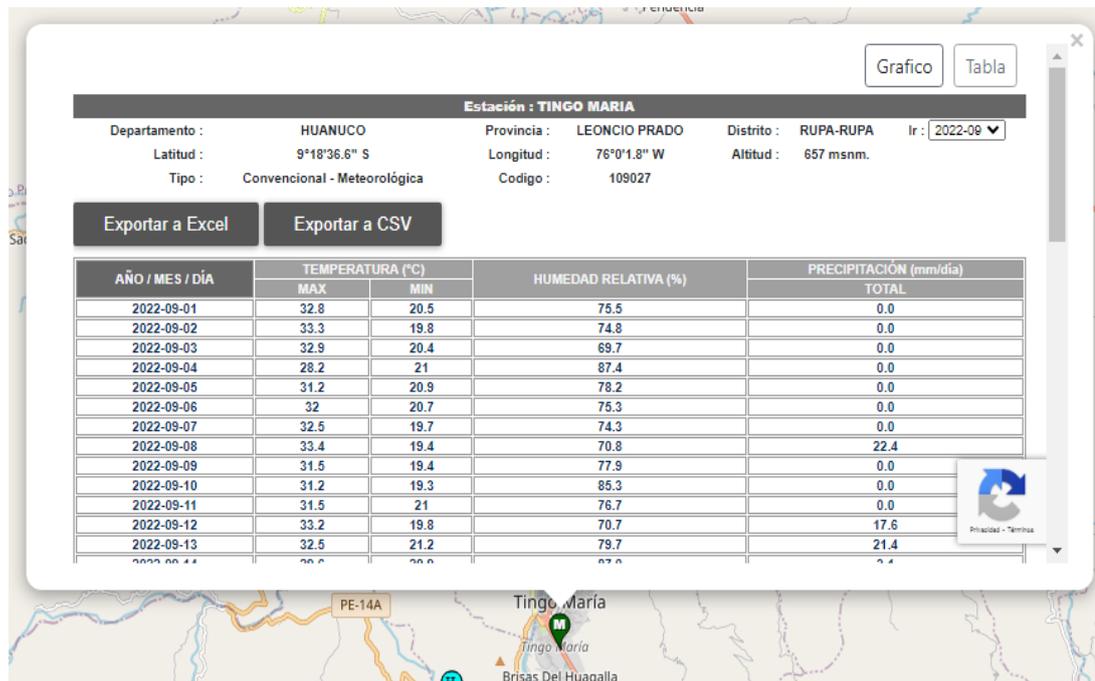
**Figura 50**

Periodo 2022-08



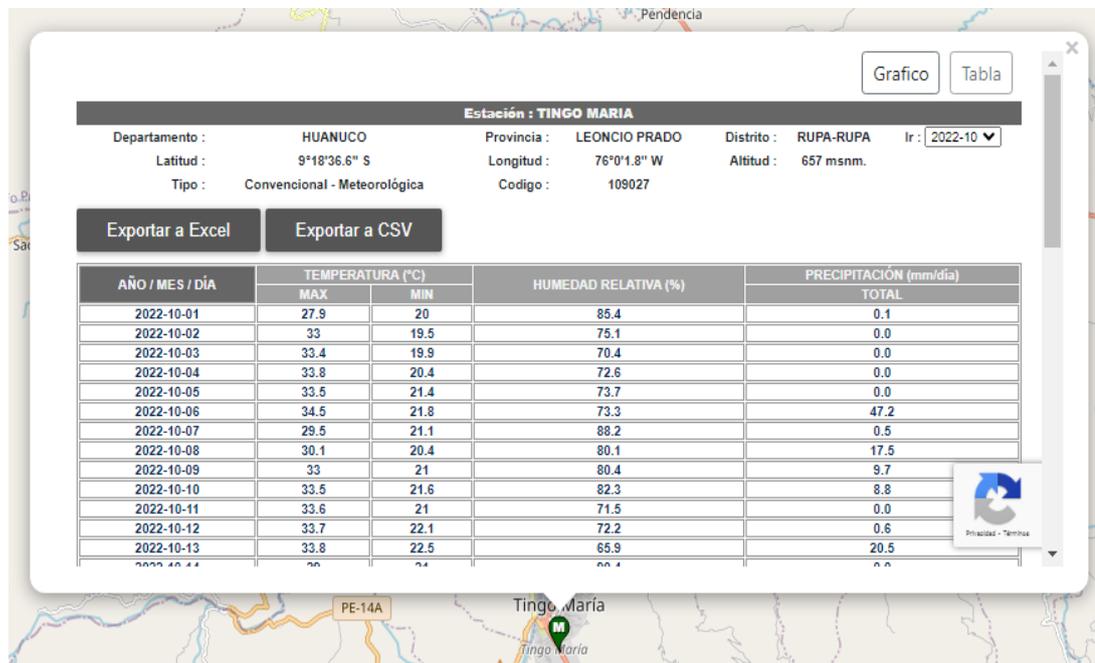
**Figura 51**

Periodo 2022-09



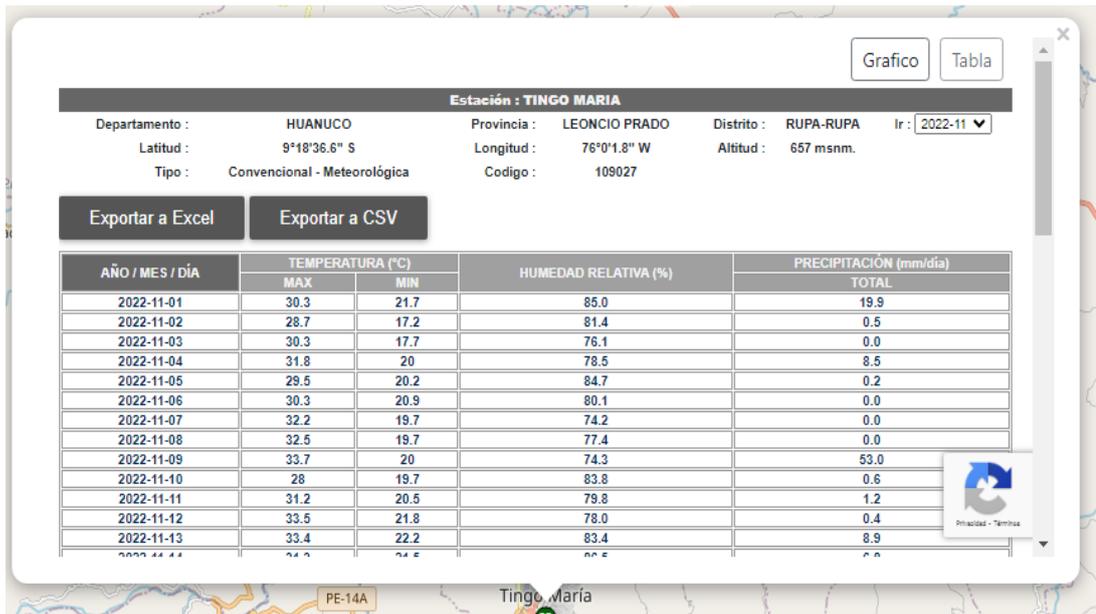
**Figura 52**

Periodo 2022-10



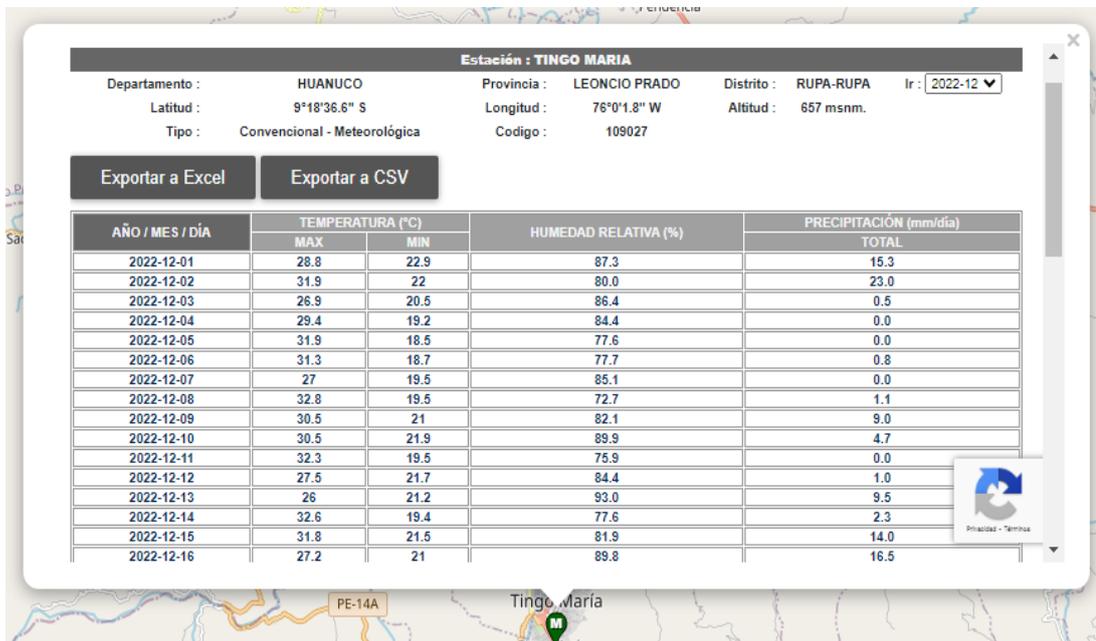
**Figura 53**

Periodo 2022-11



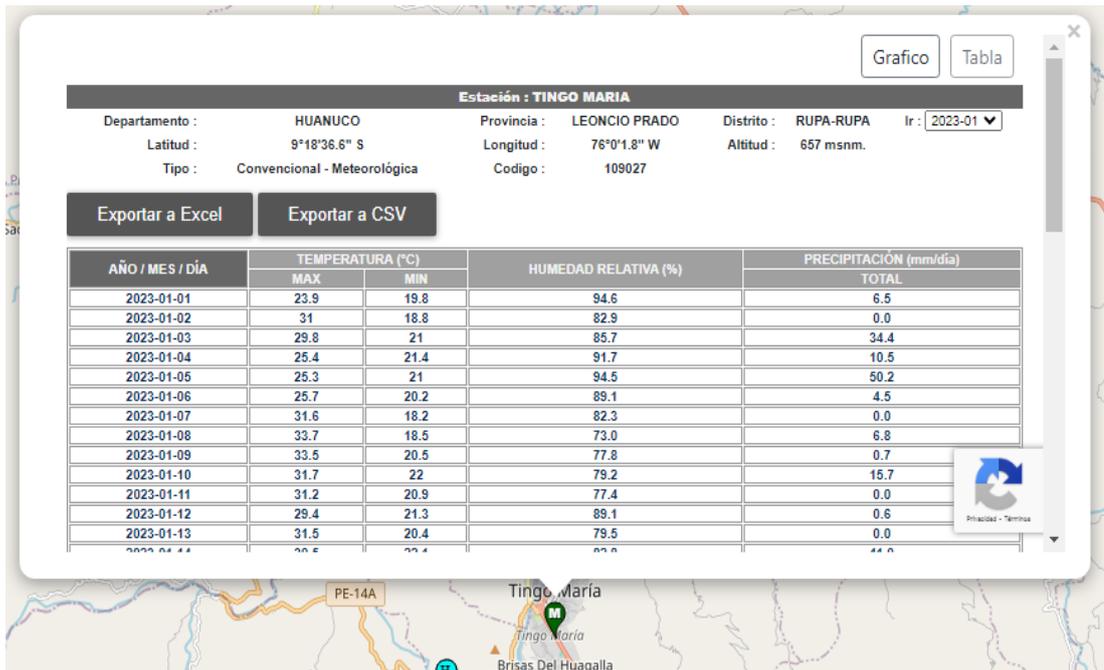
**Figura 54**

Periodo 2022-12



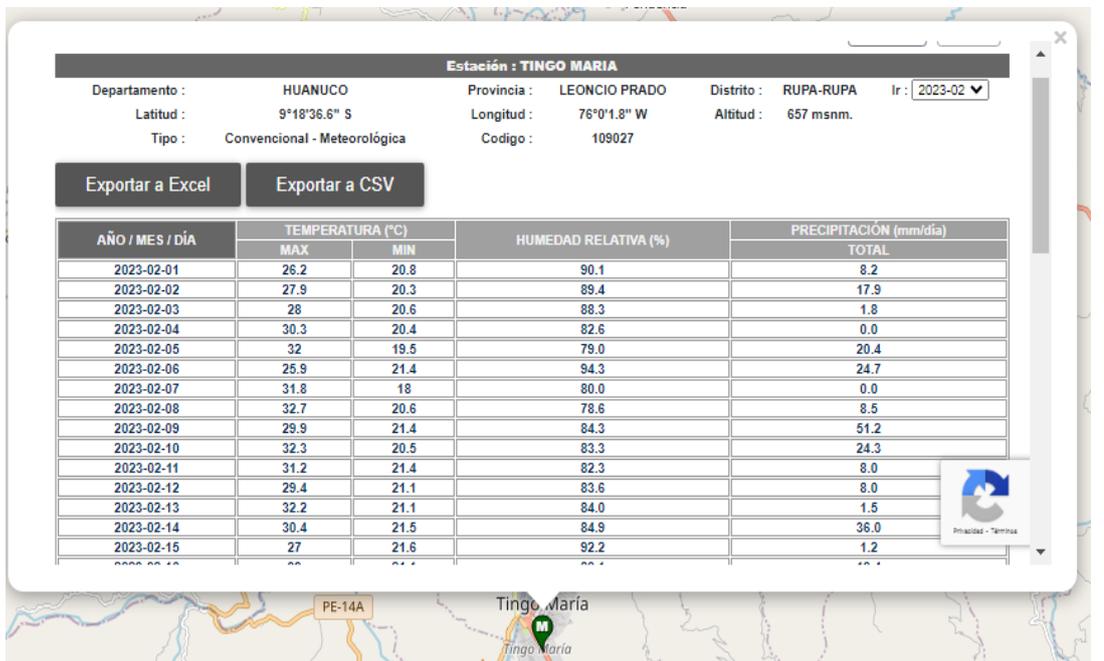
**Figura 55**

Periodo 2023-01



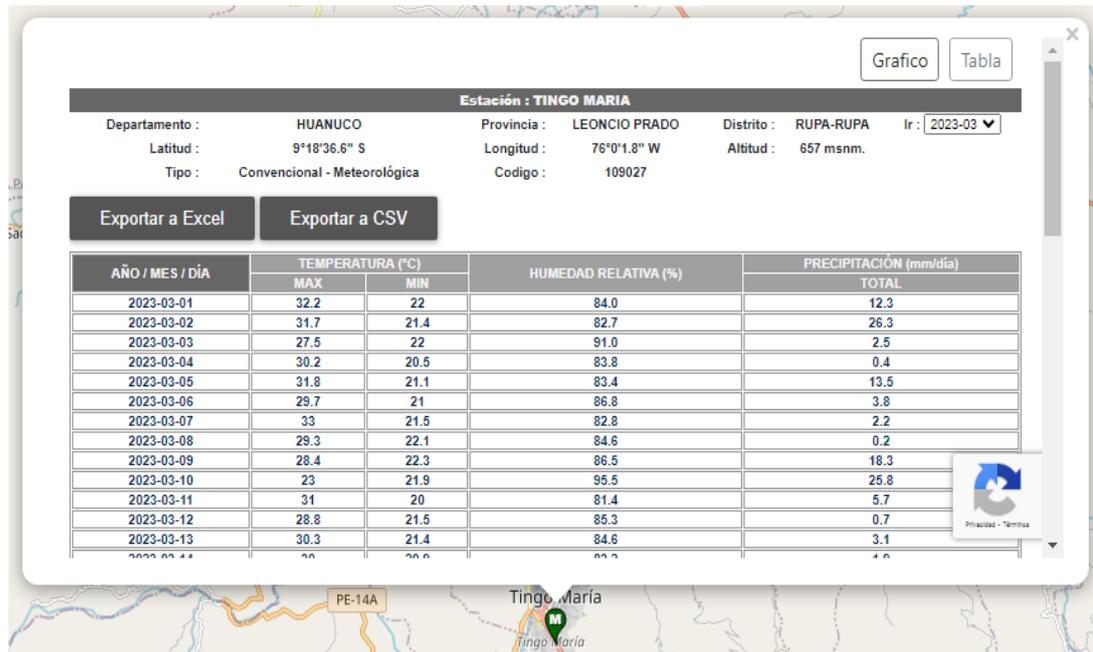
**Figura 56**

Periodo 2023-02



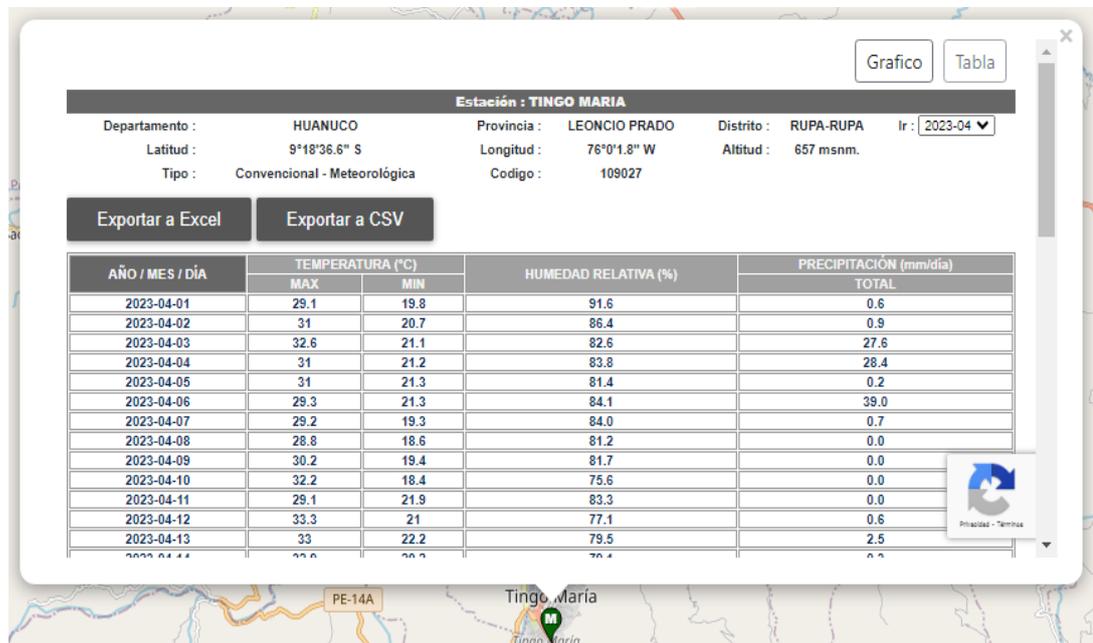
**Figura 57**

Periodo 2023-03



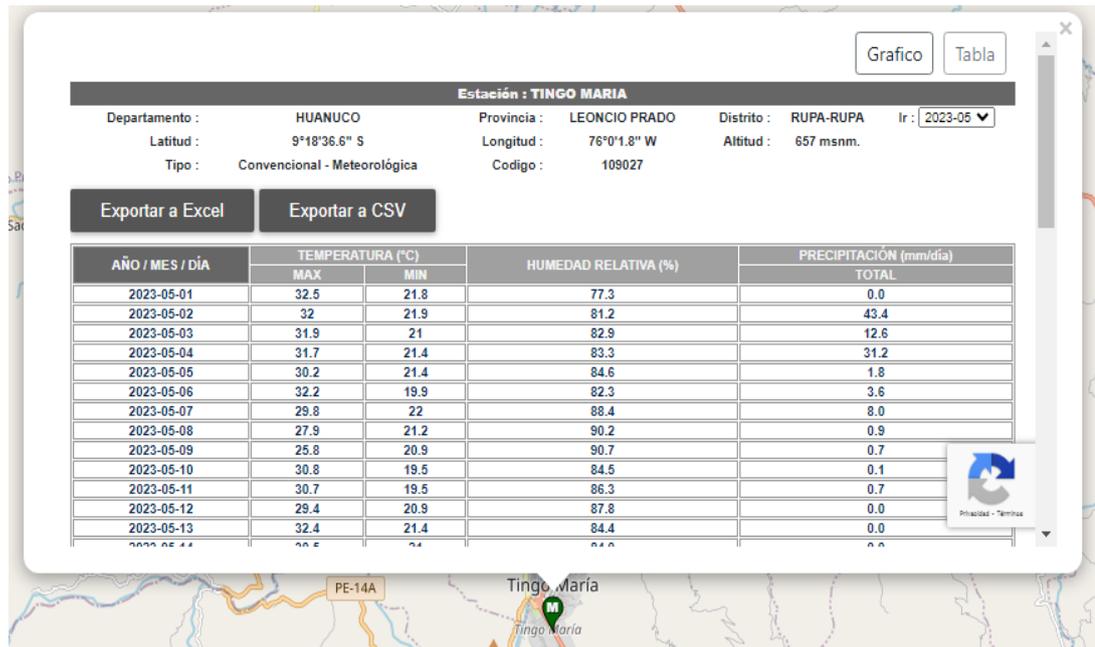
**Figura 58**

Periodo 2023-04



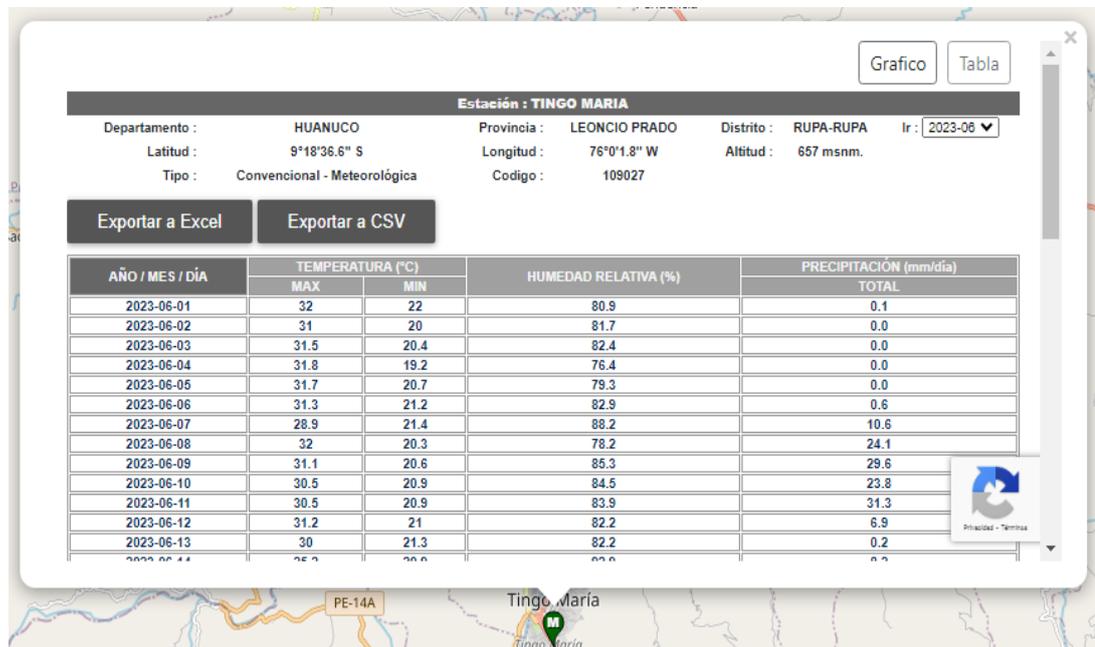
**Figura 59**

Periodo 2023-05



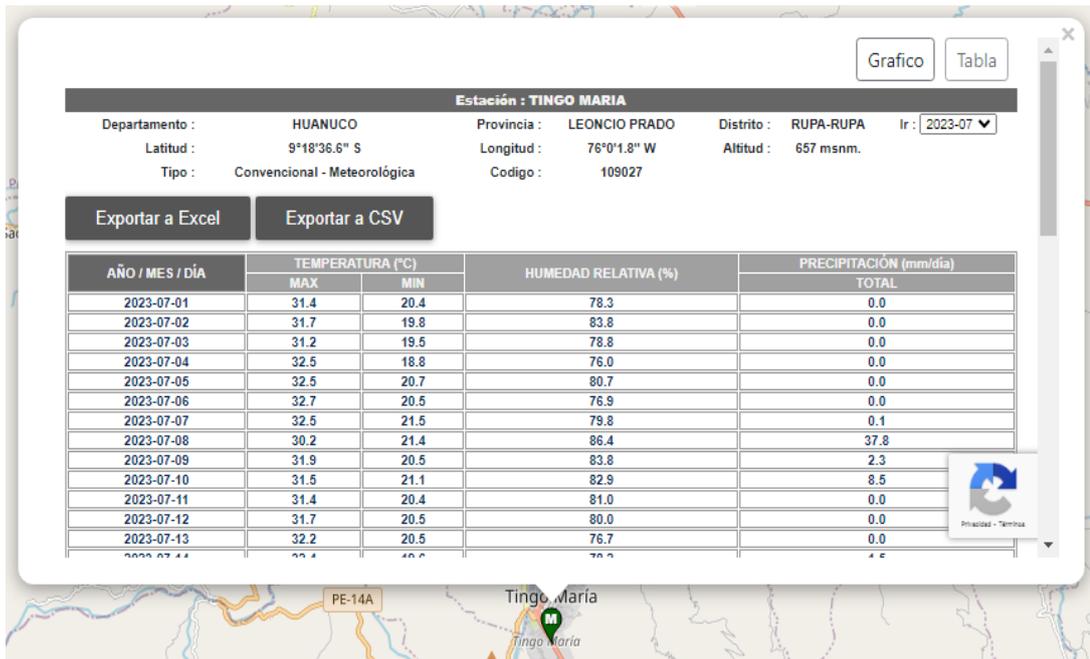
**Figura 60**

Periodo 2023-06



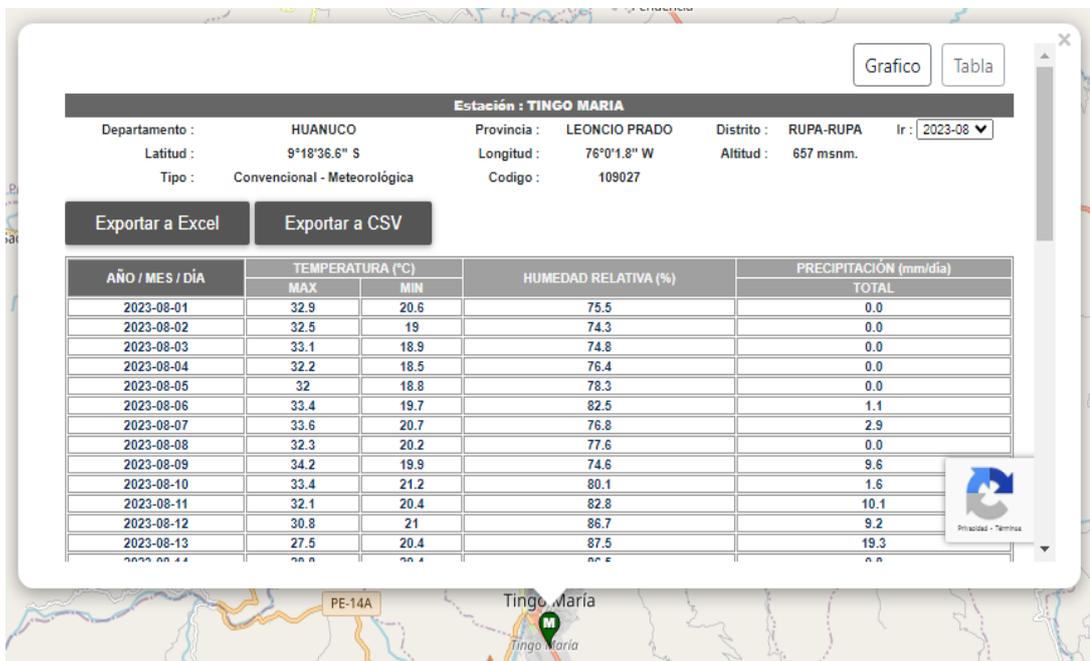
**Figura 61**

Periodo 2023-07



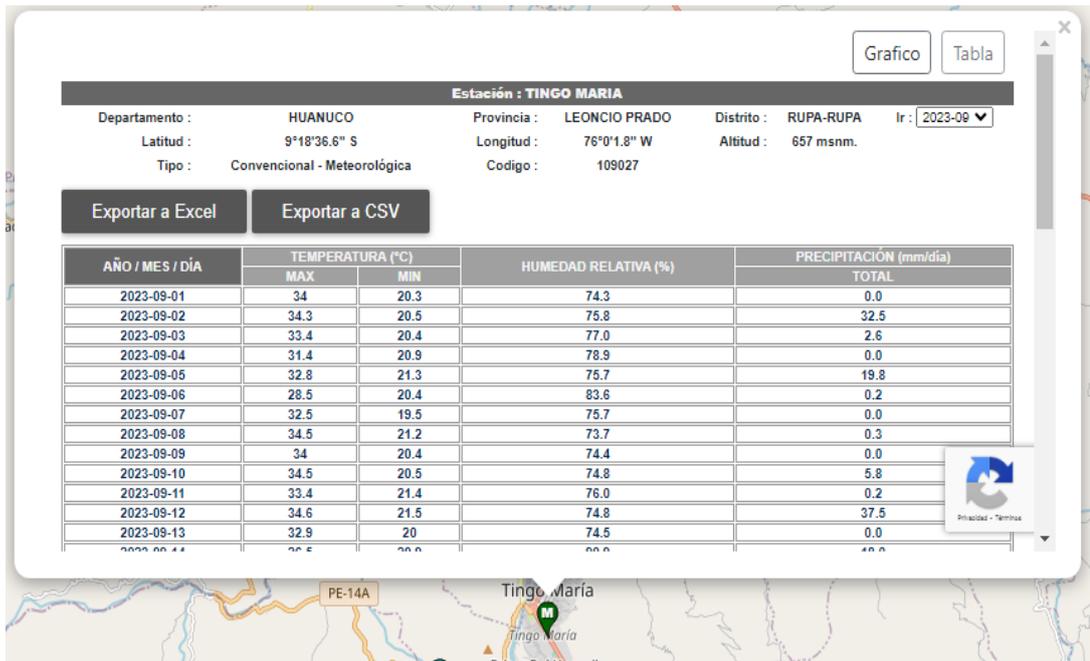
**Figura 62**

Periodo 2023-08



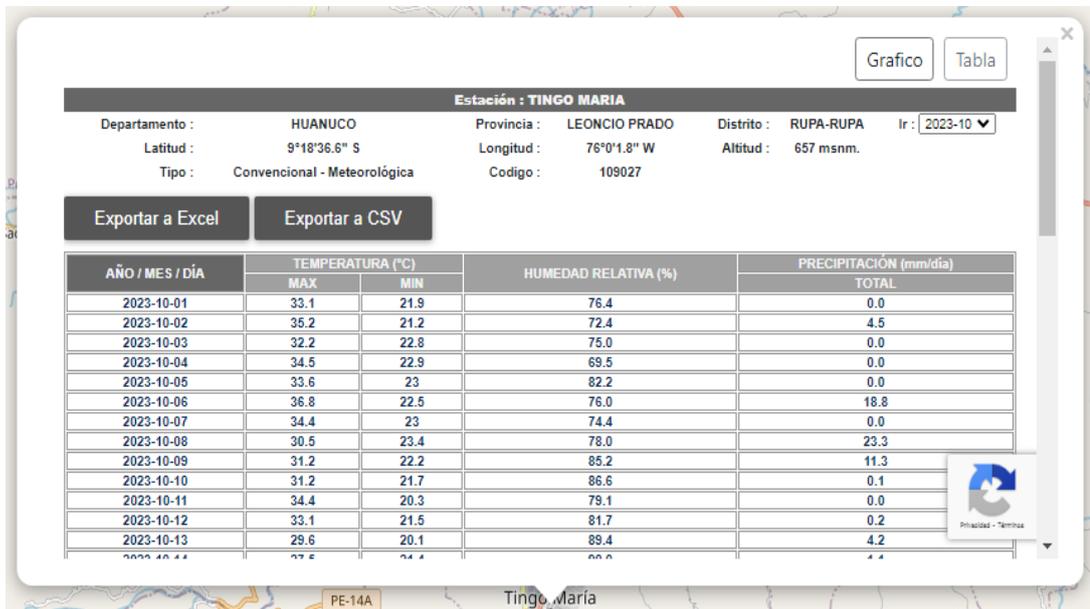
**Figura 63**

Periodo 2023-09



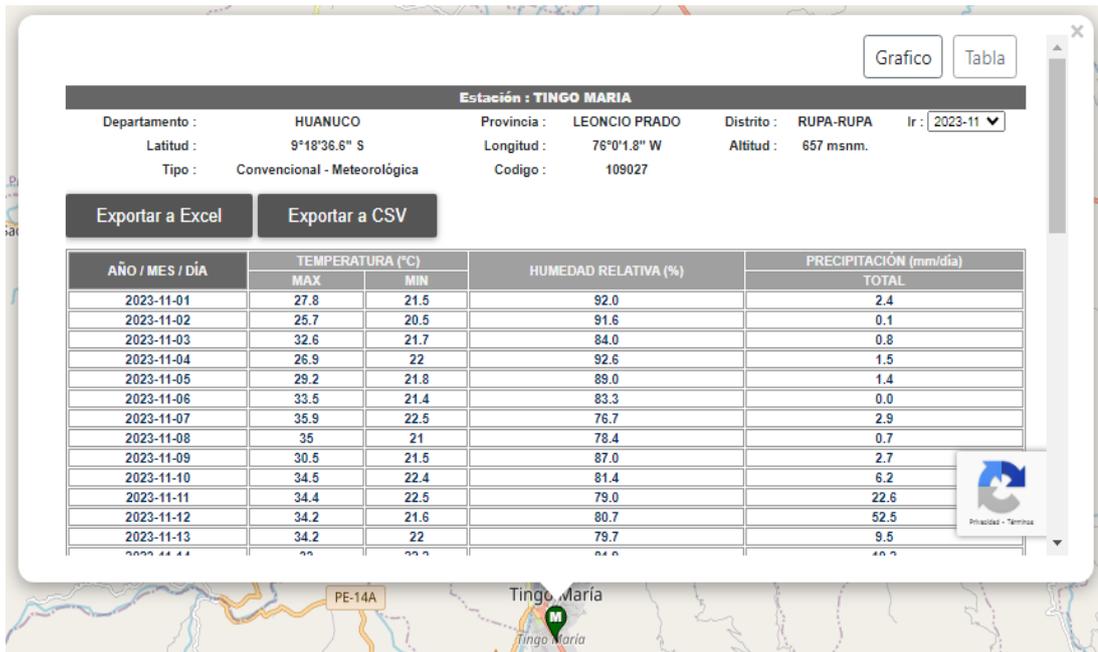
**Figura 64**

Periodo 2023-10



**Figura 65**

Periodo 2023-11



**Figura 66**

Periodo 2023-12

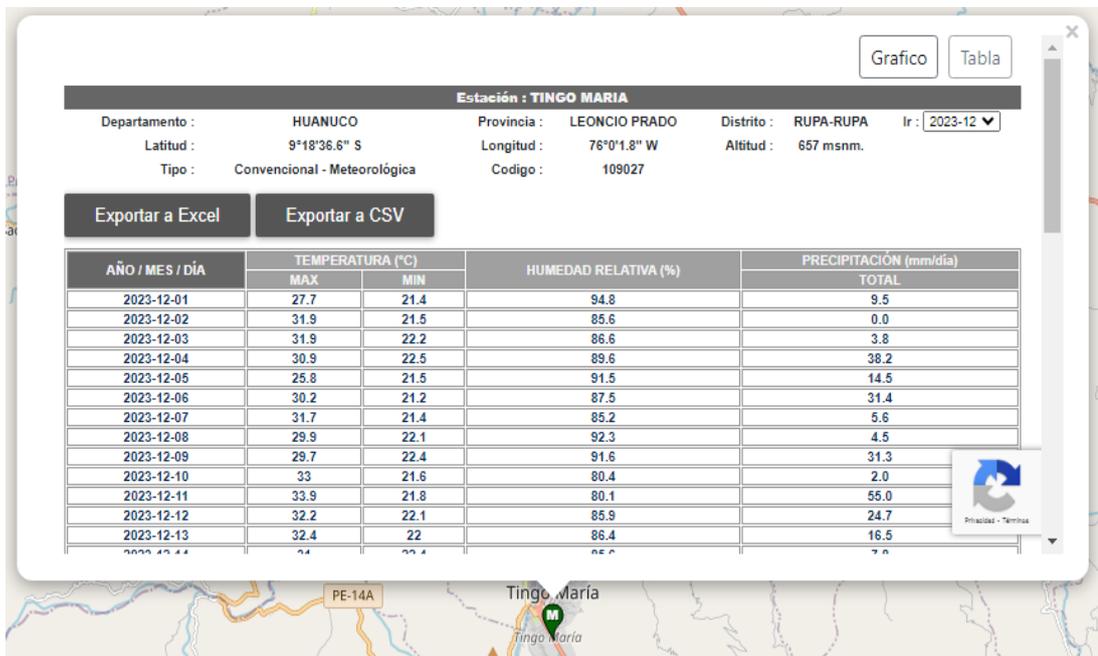
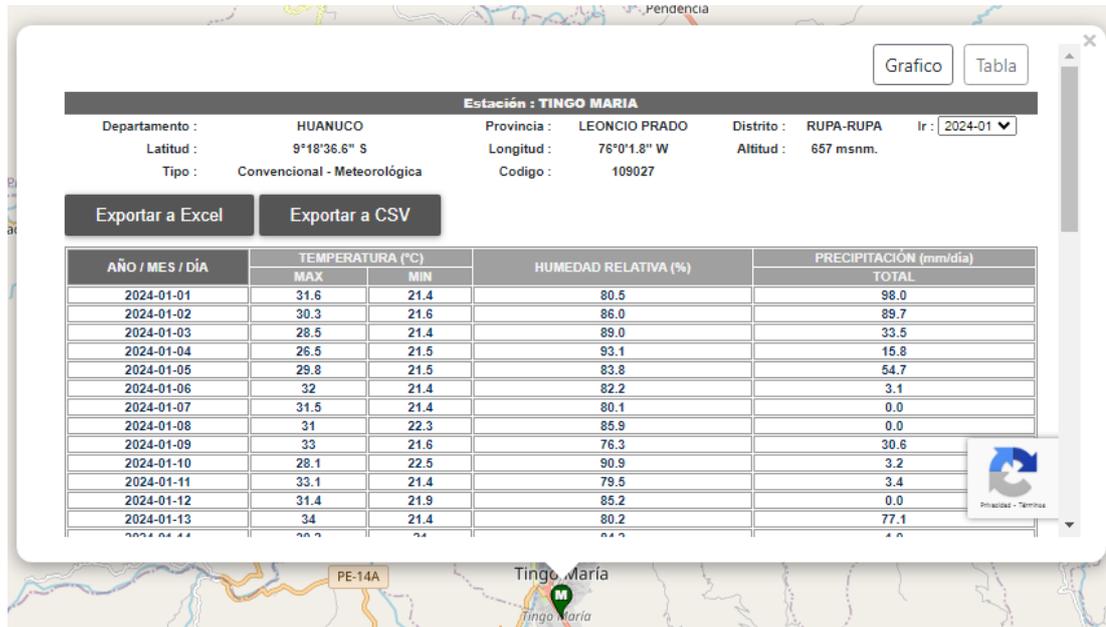


Figura 67

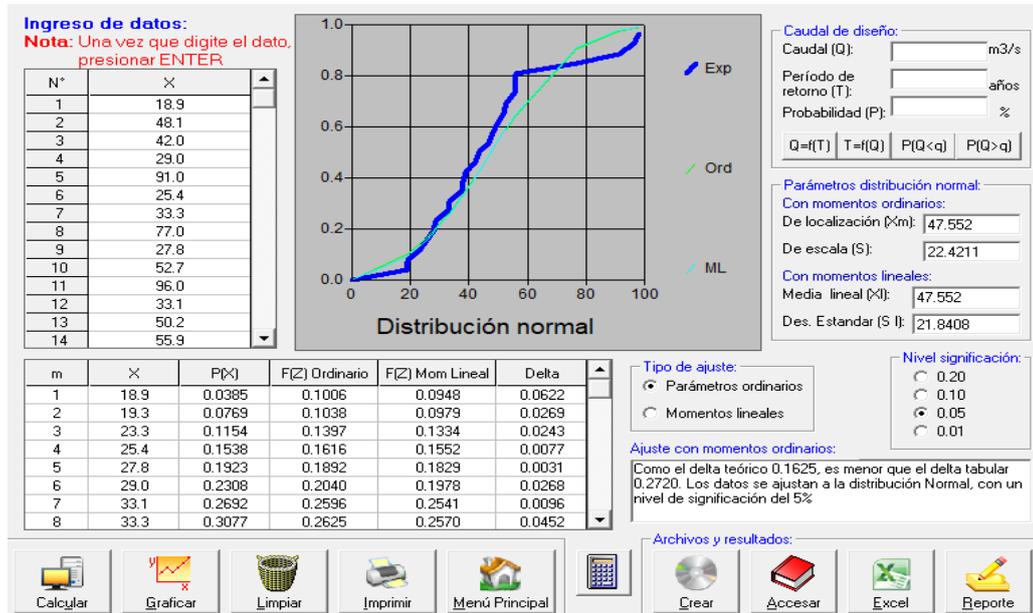
Periodo 2024-01



## HIDROESTA

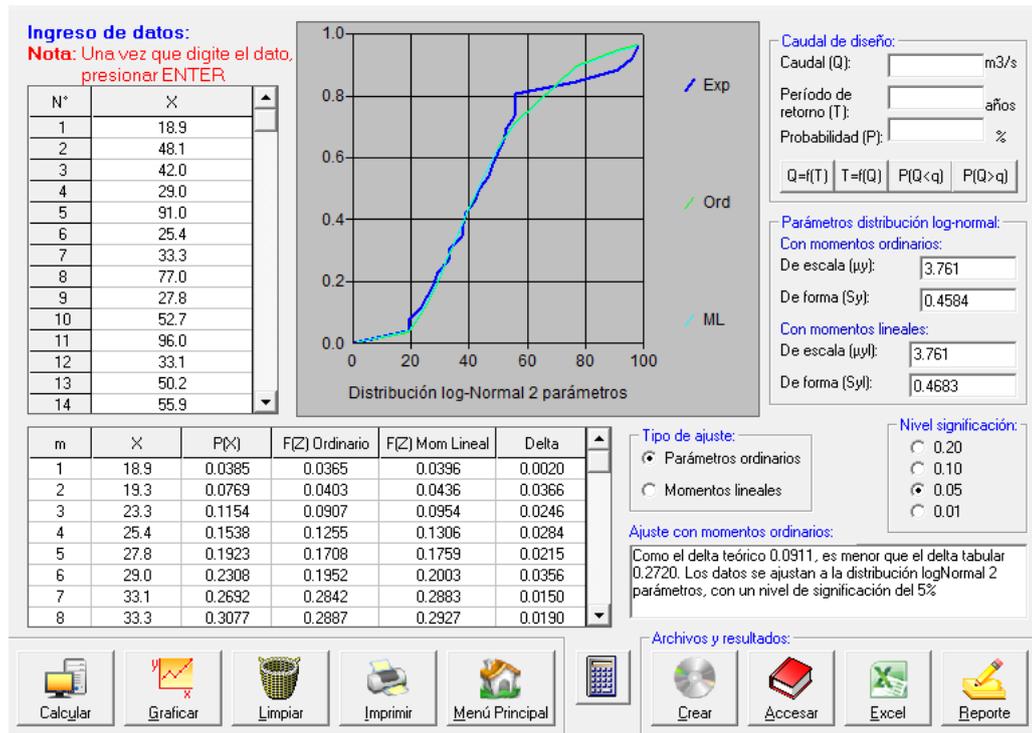
Figura 68

Distribución normal



**Figura 69**

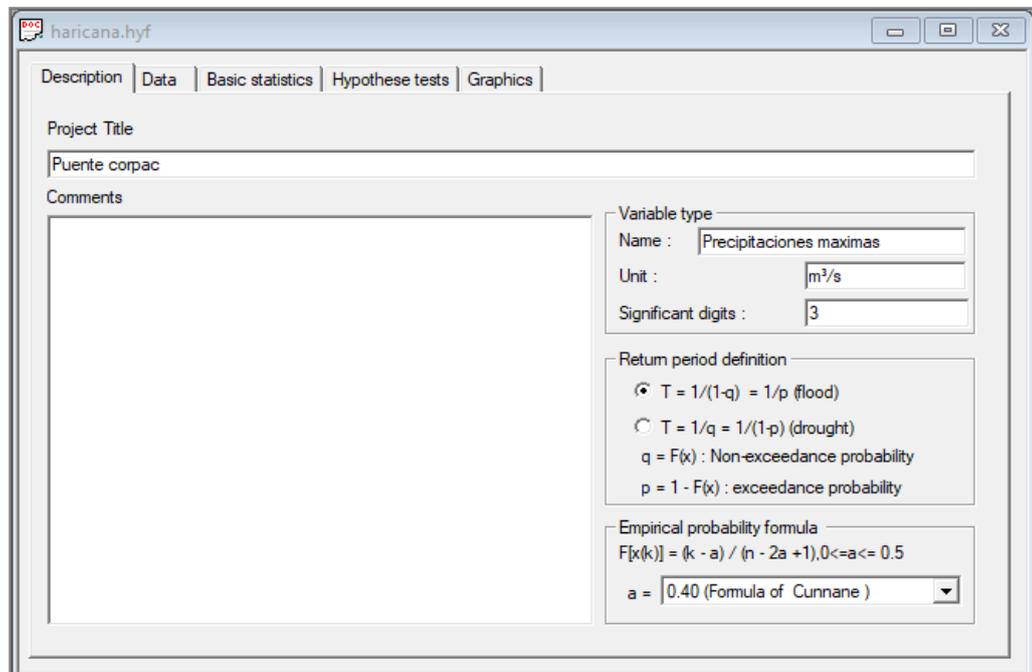
*Distribución log-normal 2 parámetros*



## HYFRAN

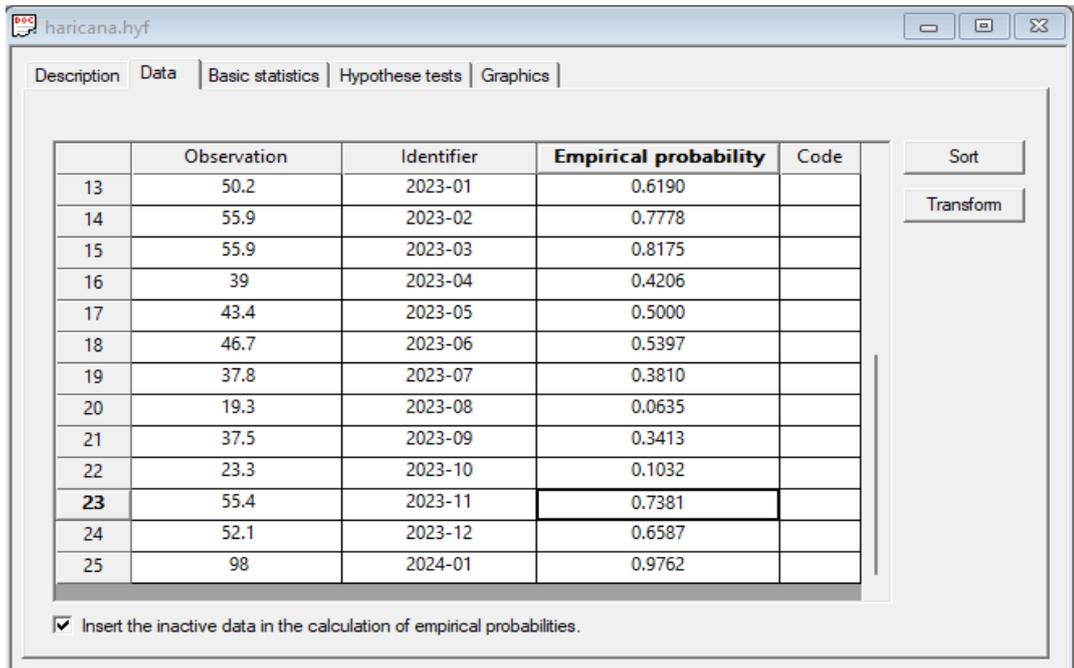
**Figura 70**

*Ventana de descripción*



**Figura 71**

*Ventana de datos*

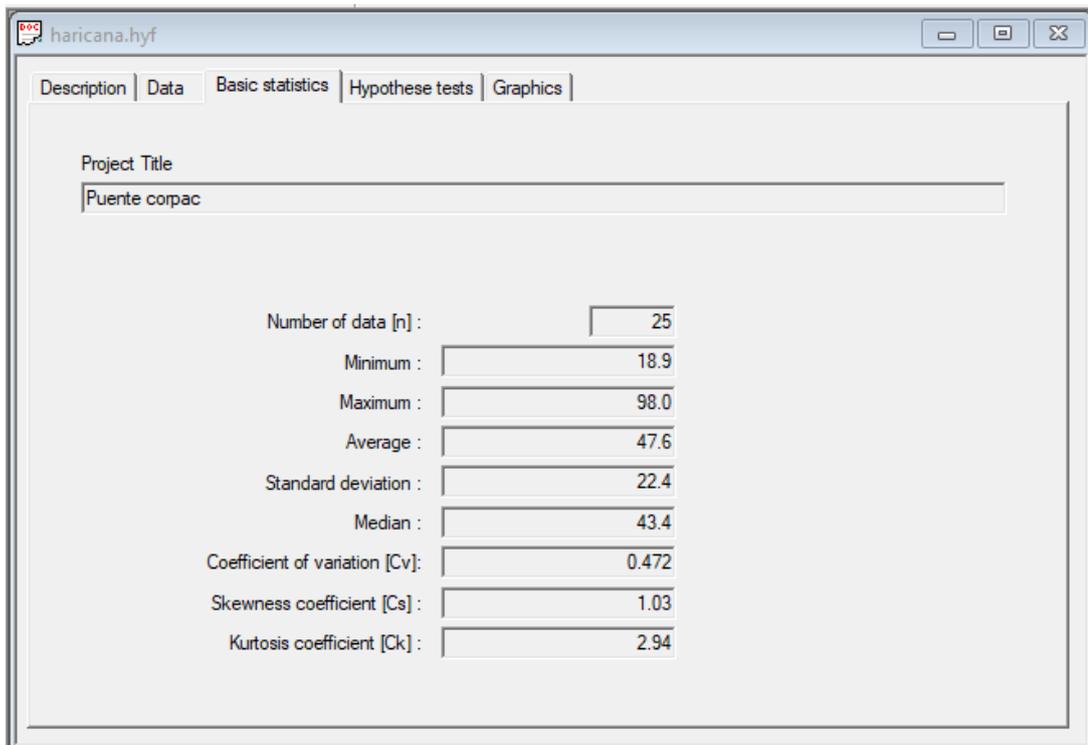


	Observation	Identifier	Empirical probability	Code
13	50.2	2023-01	0.6190	
14	55.9	2023-02	0.7778	
15	55.9	2023-03	0.8175	
16	39	2023-04	0.4206	
17	43.4	2023-05	0.5000	
18	46.7	2023-06	0.5397	
19	37.8	2023-07	0.3810	
20	19.3	2023-08	0.0635	
21	37.5	2023-09	0.3413	
22	23.3	2023-10	0.1032	
<b>23</b>	55.4	2023-11	0.7381	
24	52.1	2023-12	0.6587	
25	98	2024-01	0.9762	

Insert the inactive data in the calculation of empirical probabilities.

**Figura 72**

*Prueba de independencia de los datos*



Project Title  
Puente corpac

Number of data [n] :	25
Minimum :	18.9
Maximum :	98.0
Average :	47.6
Standard deviation :	22.4
Median :	43.4
Coefficient of variation [Cv]:	0.472
Skewness coefficient [Cs] :	1.03
Kurtosis coefficient [Ck] :	2.94

**Figura 73**

*Ventana de prueba de tendencia*

The screenshot shows a software window titled 'haricana.hyf' with a menu bar containing 'Description', 'Data', 'Basic statistics', 'Hypotheses tests', and 'Graphics'. The 'Hypotheses tests' menu is active. The 'Name of test' is set to 'Test for independence (Wald-Wolfowitz)' with a 'Subdivide sample' button to its right. The 'Project Title' is 'Puente corpac'. Under 'Hypotheses', H0 is 'The observations are independent' and H1 is 'Observations are dependent (autocorrelation of order 1)'. The 'Results' section shows a 'Statistics value' of  $|U| = 1.29$  and a 'p-value' of  $p = 0.196$ . The 'Conclusion' states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %.'

**Figura 74**

*Ventana de prueba de independencia*

The screenshot shows a software window titled 'haricana.hyf' with a menu bar containing 'Description', 'Data', 'Basic statistics', 'Hypotheses tests', and 'Graphics'. The 'Hypotheses tests' menu is active. The 'Name of test' is set to 'Stationarity test (Kendall)' with a 'Subdivide sample' button to its right. The 'Project Title' is 'Puente corpac'. Under 'Hypotheses', H0 is 'No trend is apparent in the observations' and H1 is 'There is a trend in the observations'. The 'Results' section shows a 'Statistics value' of  $|K| = 0.654$  and a 'p-value' of  $p = 0.513$ . The 'Conclusion' states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %.'

## ANEXO 3

# RESOLUCIÓN DE LA DESIGNACIÓN DEL ASESOR

### UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO Facultad de Ingeniería

#### RESOLUCIÓN N° 2620-2023-D-FI-UDH

Huánuco, 06 de noviembre de 2023

Visto, el Oficio N° 1771-2023-C-PAIC-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil y el Expediente N° 449741-0000009798, del Bach. **Jenser Aldair FASANANDO CABRERA**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar el trabajo de investigación (Tesis).

#### CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45° inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 449741-0000009798, presentado por el (la) Bach. **Jenser Aldair FASANANDO CABRERA**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación (Tesis), el mismo que propone a la Mg. Yelen Lisseth Trujillo Ariza, como Asesor de Tesis, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 27 y 28 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a Las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

#### SE RESUELVE:

**Artículo Primero.** - DESIGNAR, como Asesor de Tesis del Bach. **Jenser Aldair FASANANDO CABRERA** a la Mg. Yelen Lisseth Trujillo Ariza, Docente del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería.

**Artículo Segundo.**- El interesado tendrá un plazo máximo de 6 meses para solicitar revisión del Trabajo de Investigación (Tesis). En todo caso deberá de solicitar nuevamente el trámite con el costo económico vigente.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



#### Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Mat. y Reg.Acad. - Interesado - Archivo.  
BLCRE/JML/nto.

## ANEXO 4

# RESOLUCIÓN DE LA APROBACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

### UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO Facultad de Ingeniería

#### RESOLUCIÓN N° 1824-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 27 de agosto de 2024

Visto, el Oficio N° 1253-2024-C-PAIC-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Civil, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: "METODOLOGÍA PARA CALCULAR HIDROGRAMAS DE CRECIDAS UTILIZANDO MODELOS DE LLUVIA ESCORRENTÍA CON HYFRAN Y HEC-HMS. ESTUDIO DE CASO: CUENCA DEL RÍO HUALLAGA EN EL SECTOR DEL PUENTE CORPAC, HUÁNUCO - 2024", presentado por el (la) Bach. **Jenser Aldair FASANANDO CABRERA**.

#### CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución N° 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución N° 2620-2023-D-FI-UDH, de fecha 06 de noviembre de 2023, perteneciente al Bach. **Jenser Aldair FASANANDO CABRERA** se le designó como ASESOR(A) al Mg. Yelen Lisseth Trujillo Ariza, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 1253-2024-C-PAIC-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: "METODOLOGÍA PARA CALCULAR HIDROGRAMAS DE CRECIDAS UTILIZANDO MODELOS DE LLUVIA ESCORRENTÍA CON HYFRAN Y HEC-HMS. ESTUDIO DE CASO: CUENCA DEL RÍO HUALLAGA EN EL SECTOR DEL PUENTE CORPAC, HUÁNUCO - 2024", presentado por el (la) Bach. **Jenser Aldair FASANANDO CABRERA**, integrado por los siguientes docentes: Mg. Alberto Carlos Jara Trujillo (Presidente), Mg. Martín Cesar Valdivieso Echevarría (Secretario) e Ing. Percy Mello Davila Herrera (Vocal), quienes declaran APTO para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

#### SE RESUELVE:

**Artículo Primero.** - APROBAR, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución intitulado: "METODOLOGÍA PARA CALCULAR HIDROGRAMAS DE CRECIDAS UTILIZANDO MODELOS DE LLUVIA ESCORRENTÍA CON HYFRAN Y HEC-HMS. ESTUDIO DE CASO: CUENCA DEL RÍO HUALLAGA EN EL SECTOR DEL PUENTE CORPAC, HUÁNUCO - 2024", presentado por el (la) Bach. **Jenser Aldair FASANANDO CABRERA** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil, del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco.

**Artículo Segundo.** - El Trabajo de Investigación (Tesis) deberá ejecutarse hasta un plazo máximo de 1 año de su Aprobación. En caso de incumplimiento podrá solicitar por única vez la ampliación del mismo (6 meses).

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Exp. Graduando - Interesado - Archivo.  
BCR/EJML/nto.

## ANEXO 5

# RESOLUCIÓN DE LA DESIGNACIÓN DE JURADOS

## UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO *Facultad de Ingeniería*

### RESOLUCIÓN N° 2827-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 20 de diciembre de 2024

Visto, el Of. N° 1877-2024-C-PAIC-FI-UDH y el Exp. N° 520918-0000010044, presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil, quien informa que el (la) Bach. Bach. **Jenser Aldair FASANANDO CABRERA**, solicita Revisión del informe final del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulada: **"METODOLOGÍA PARA CALCULAR HIDROGRAMAS DE CRECIDAS UTILIZANDO MODELOS DE LLUVIA ESCORRENTÍA CON HYFRAN Y HEC-HMS. ESTUDIO DE CASO: CUENCA DEL RÍO HUALLAGA EN EL SECTOR DEL PUENTE CORPAC, HUÁNUCO - 2024"**.

#### CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Art. N° 38 y 39 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, es necesaria la revisión del Trabajo de Investigación (Tesis) por la Comisión de Grados y Títulos del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, de la Universidad de Huánuco; y,

Que, para tal efecto es necesario nombrar al jurado Revisor y/o evaluador, compuesta por tres miembros docentes de la Especialidad, y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

#### SE RESUELVE:

**Artículo Primero.- NOMBRAR**, al Jurado Revisor que evaluará el informe final del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulada: **"METODOLOGÍA PARA CALCULAR HIDROGRAMAS DE CRECIDAS UTILIZANDO MODELOS DE LLUVIA ESCORRENTÍA CON HYFRAN Y HEC-HMS. ESTUDIO DE CASO: CUENCA DEL RÍO HUALLAGA EN EL SECTOR DEL PUENTE CORPAC, HUÁNUCO - 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Jenser Aldair FASANANDO CABRERA** del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, conformado por los siguientes docentes:

- |  |            |
|--|------------|
| ➤ Mg. Alberto Carlos Jara Trujillo       | PRESIDENTE |
| ➤ Mg. Martin Cesar Valdivieso Echevarria | SECRETARIO |
| ➤ Mg. Percy Mello Davila Herrera         | VOCAL      |

**Artículo Segundo.-** Los miembros del Jurado Revisor tienen un plazo de siete (07) días hábiles como máximo, para emitir el informe y opinión acerca del Informe Final del Trabajo de Investigación (Tesis).

REGISTRESE, COMUNIQUESE Y ARCHIVESE,



Distribución:  
C PAIC - Mat. y Reg. Acad.- Interesado- Jurado (03)- Archivo  
BCR/EJML/nto.

## ANEXO 6

# RESOLUCIÓN DE LA APROBACIÓN DEL INFORME FINAL

## UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO *Facultad de Ingeniería*

### RESOLUCIÓN N° 0639-2025-D-FI-UDH

Huánuco, 10 de abril de 2025

Visto, el Oficio N° 0404-2025-C-PAIC-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Civil, remite el dictamen de los jurados revisores, del Informe Final de Trabajo de investigación (Tesis) intitulado: **"METODOLOGÍA PARA CALCULAR HIDROGRAMAS DE CRECIDAS UTILIZANDO MODELOS DE LLUVIA ESCORRENTÍA CON HYFRAN Y HEC-HMS. ESTUDIO DE CASO: CUENCA DEL RÍO HUALLAGA EN EL SECTOR DEL PUENTE CORPAC, HUÁNUCO - 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Jenser AldaIR FASANANDO CABRERA**.

#### CONSIDERANDO:

Que, según mediante Resolución N° 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución N° 1824-2024-D-FI-UDH, de fecha 20 de diciembre de 2024, se aprobó el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución, del Bach. **Jenser AldaIR FASANANDO CABRERA**, y;

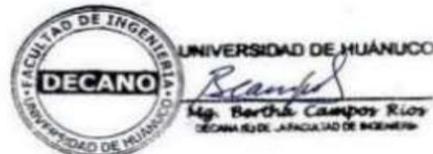
Que, según Oficio N° 0404-2025-C-PAIC-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Informe Final de Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"METODOLOGÍA PARA CALCULAR HIDROGRAMAS DE CRECIDAS UTILIZANDO MODELOS DE LLUVIA ESCORRENTÍA CON HYFRAN Y HEC-HMS. ESTUDIO DE CASO: CUENCA DEL RÍO HUALLAGA EN EL SECTOR DEL PUENTE CORPAC, HUÁNUCO - 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Jenser AldaIR FASANANDO CABRERA**, integrado por los siguientes docentes: Mg. Alberto Carlos Jara Trujillo (Presidente), Mg. Martín Cesar Valdivieso Echevarría (Secretario) y Mg. Percy Mello Davila Herrera (Vocal), quienes declaran APTO para la Sustentación de su Tesis, y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

#### SE RESUELVE:

**Artículo Único.** - **APROBAR**, el Informe Final de Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"METODOLOGÍA PARA CALCULAR HIDROGRAMAS DE CRECIDAS UTILIZANDO MODELOS DE LLUVIA ESCORRENTÍA CON HYFRAN Y HEC-HMS. ESTUDIO DE CASO: CUENCA DEL RÍO HUALLAGA EN EL SECTOR DEL PUENTE CORPAC, HUÁNUCO - 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Jenser AldaIR FASANANDO CABRERA** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil, del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco.

#### REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



Distribución:

Fac. de Ingeniería – PAIC – Exp. Graduando – Interesado - Archivo.  
BCR/EJML/nto.

## ANEXO 7

### RESOLUCIÓN APTO PAR SUSTENTAR

#### UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO *Facultad de Ingeniería*

##### RESOLUCIÓN N° 0921-2025-D-FI-UDH

Huánuco, 14 de mayo de 2025

Visto, el Expediente con Registro Virtual N° 539560-0000002193, presentado por el (la) Bach. **Jenser Aldair FASANANDO CABRERA**, del Programa Académico de Ingeniería Civil, quién solicita se le declare Apto para sustentar el Trabajo de Investigación (Tesis) para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

#### CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución N° 466-2016-R-CU-UDH, de fecha 23 de mayo de 2016, y el Art. 37° del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se aprueba que el Bachiller debe ser declarado Apto para Sustentar por Resolución para obtener el título profesional;

Estando a lo expuesto y en uso de las atribuciones conferidas por el Art. 118° del Estatuto de la Universidad de Huánuco;

#### SE RESUELVE:

**Artículo Único.** - **DECLARAR**, al Bachiller en Ingeniería Civil **Sr. Jenser Aldair FASANANDO CABRERA**, apto para sustentar el Trabajo de Investigación (**TESIS**) para obtener el Título Profesional de **INGENIERO CIVIL**.

REGISTRESE, COMUNIQUESE Y ARCHIVESE,



Distribución:  
Exp. De Título- Interesado - PAA - Archivo  
BLCR/EJML/nto