

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS:

**Programa computacional para obtener curvas IDF y
hietogramas de diseño mediante el Visual Basic 10.9 -
Ayacucho - 2022**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:

Bach. Jhonatan Crispin CUYA ALCA

ASESOR:

M.Sc. César Vidal GUTIÉRREZ NINAHUAMÁN

AYACUCHO - PERÚ

2026

DEDICATORIA

A mi madre por su amor incondicional, su apoyo constante, por enseñarme a nunca rendirme, por ser mi mayor inspiración y fuerza de vida. este logro es tanto tuyo como mío.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, mi alma mater, por brindarme la oportunidad de formarme en sus aulas y por ser el espacio donde crecí tanto personal como académicamente.

A la Facultad de Ciencias Agrarias y a mi querida Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola por haberme acogido y guiado a lo largo de mi formación profesional.

A mis familiares, quienes con su cariño y apoyo incondicional me han acompañado en este camino, dándome siempre la motivación para seguir adelante.

A mi asesor de tesis, el Ing. César V. Gutiérrez Ninahuaman, quien me guio con mucha paciencia y dedicación en la materialización del presente trabajo. Su conocimiento y orientación han sido fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

A mis amigos del colegio y de la universidad, por su amistad, comprensión y apoyo durante los momentos difíciles. Por hacer que este viaje sea más ameno.

También quiero agradecer a todas aquellas personas que han sido parte de este viaje académico, personas a las que agradezco su amistad, su apoyo, sus consejos y aliento, especialmente en los momentos más difíciles. A los que están y a los que ya se fueron, a las personas que viven en mis recuerdos y en mi corazón. Sin importar donde se encuentren, les agradezco por haber formado parte de mi vida, por todo lo que me han dado y por todos sus buenos deseos.

ÍNDICE GENERAL

<i>DEDICATORIA</i>	<i>ii</i>
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	<i>iii</i>
<i>ÍNDICE GENERAL</i>	<i>iv</i>
<i>ÍNDICE DE TABLAS</i>	<i>xi</i>
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	<i>xvii</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>xxiv</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>xxv</i>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	<i>1</i>
<i>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i>	<i>3</i>
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.2.1. Problema principal	4
1.2.2. Problemas secundarios	4
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	5

1.4.1.	Hipótesis general.....	5
1.4.2.	hipótesis específicas	5
1.5.	JUSTIFICACIÓN	5
1.6.	DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.6.1.	Espacial	6
1.6.2.	Temporal	6
<i>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO</i>		<i>7</i>
2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.1.1.	internacional.....	7
2.1.2.	Nacional	8
2.2.	BASES TEÓRICAS	8
2.2.1.	Fundamentos de Hidrología Aplicada.....	8
2.2.1.1.	Ciclo hidrológico.....	8
2.2.1.2.	Precipitación: conceptos y características	9
2.2.1.3.	Precipitación máxima de 24 horas.....	10
2.2.1.4.	Intensidad, duración y frecuencia de la lluvia	10
2.2.1.5.	Importancia de la información pluviométrica	11
2.2.1.6.	Calidad de datos y resolución temporal.....	11
2.2.2.	Eventos extremos, excedencias y periodos de retorno	12
2.2.2.1.	Eventos extremos de precipitación.....	12
2.2.2.2.	Probabilidad de excedencia	12

2.2.2.3.	Período de retorno	12
2.2.3.	Análisis Estadístico de datos hidrológicos	13
2.2.4.	Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF).....	13
2.2.4.1.	Definición y utilidad de las curvas IDF.....	13
2.2.4.2.	Desagregación de precipitación máxima de 24h	15
a)	Método de Dick Peschke	15
b)	Método de coeficientes.....	15
c)	Método de Frederich Bell adaptado por Yance Tueros	16
2.2.4.3.	Método de IILA–SENAMHI–UNI.....	17
2.2.4.4.	Representación de las curvas IDF mediante expresiones matemáticas	20
2.2.4.5.	Aplicaciones de las curvas IDF en obras hidráulicas y agrícolas	21
2.2.5.	Programación computacional en hidrológica	23
2.2.5.1.	Visual Basic: características y ventajas de la programación en el análisis hidrológico.....	23
2.2.5.2.	Aplicaciones de Visual Basic en programas de ingeniería.....	24
2.2.6.	Contexto regional Ayacucho	24
2.2.6.1.	Régimen de lluvia y disponibilidad de datos.....	24
2.2.6.2.	Alcance de validez y transferibilidad de IDF y patrones.....	25
2.3.	Marco normativo	25
<i>CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS.....</i>		<i>27</i>
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	27
3.2.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	27

3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	27
3.4. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	28
3.5. VARIABLES E INDICADORES	28
3.5.1. Variable Independiente.....	28
3.5.2. Variable dependiente.....	28
3.5.3. Variables intervinientes.....	29
3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	29
3.7. METODOLOGÍA.....	30
3.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	32
3.8.1. Materiales.....	32
3.9. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS	34
3.9.1. Fase I: Análisis hidrológico-estadístico de la información pluviométrica.....	34
3.9.1.1. Recopilación, organización y preparación de la información pluviométrica	34
3.9.1.2. Análisis de datos dudosos	35
3.9.1.3. Análisis estadístico y pruebas de consistencia de la serie	36
3.9.1.4. Análisis de frecuencia y ajuste de distribuciones de probabilidad.....	37
3.9.1.5. Estimación hidrológica para la obtención de intensidades, curvas IDF e hietogramas.....	38
3.9.1.6. Fase II: Implementación computacional del procedimiento	¡Error! Marcador no definido.
3.9.1.7. Fase III: Validación comparativa y organización de resultados.....	¡Error! Marcador no definido.
3.9.2. Estructura modular y diagramas de flujo del programa computacional	41
3.9.2.1. Flujo de funcionamiento del software e integración de los módulos	41

3.9.2.2.	Módulo de gestión de datos de precipitación máxima de 24 horas.....	43
3.9.2.3.	Módulo de Análisis de datos dudosos.....	43
3.9.2.4.	Módulo de Análisis estadístico y pruebas de consistencia de datos.....	46
3.9.2.5.	Módulo de distribución y pruebas de bondad de ajuste.	46
3.9.2.6.	Módulo de generación de curvas IDF y hietograma de diseño	48
3.9.2.7.	Módulo IILA–SENAMHI–UNI.....	53
3.10.	ORGANIZACIÓN Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS	56
3.10.1.	Organización y procesamiento de los resultados.....	56
3.10.2.	Evaluación de la consistencia interna de los resultados	57
3.10.3.	Validación mediante comparación de herramientas de referencia.	57
3.10.4.	Interpretación técnica de los resultados.....	58
3.11.	PRINCIPIOS ÉTICOS	58
<i>CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>		<i>60</i>
4.1.	DESARROLLO DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL.....	60
4.1.1.	Implementación del modelo matemático.....	60
4.1.2.	Estructura modular del programa computacional.....	61
4.1.3.	Interfaz gráfica del programa computacional.....	61
4.1.3.1.	Interfaz principal del programa.....	62
4.1.3.2.	Interfaz de visualización de datos	63
4.1.3.3.	Interfaz de análisis de datos dudosos	65
4.1.3.4.	Interfaz de análisis estadístico de la serie	66

4.1.3.5.	Interfaz de distribución de probabilidades	67
4.1.3.6.	Interfaz de la distribución temporal de la precipitación	75
4.1.3.7.	Interfaz IILA–SENAMHI–UNI	84
4.2.	RESULTADOS GENERADOS POR EL PROGRAMA COMPUTACIONAL	86
4.2.1.	Resultados numéricos obtenidos por el programa desarrollado	86
4.2.1.1.	Identificación y evaluación de valores atípicos	86
4.2.1.2.	Resultado de análisis estadístico de la serie	87
4.2.1.3.	Ajuste de distribución de probabilidad	88
4.2.1.4.	Precipitaciones desagregadas para para diferentes duraciones y periodos de retorno	92
4.2.1.5.	Intensidades obtenidas para diferentes modelos	95
4.2.1.6.	Resultados de la ecuación IDF parametrizada	100
4.2.1.7.	Resultados del hietograma de diseño	101
4.2.2.	Resultados gráficos generados por el programa desarrollado	110
4.3.	Validación del programa computacional	117
4.3.1.	Validación de la consistencia interna	117
4.3.2.	Validación mediante comparación con herramientas de referencia	118
4.4.	Análisis comparativo entre métodos implementados	129
4.5.	MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL	130
4.6.	SÍNTESIS DE CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS	131
	<i>CONCLUSIONES</i>	<i>133</i>
	<i>RECOMENDACIONES</i>	<i>134</i>

<i>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</i>	<i>136</i>
<i>ANEXOS</i>	<i>140</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Valores del factor b según región</i>	19
Tabla 2	<i>Valores de los parámetros $k'g$ y ξg en función a la zona</i>	19
Tabla 3	<i>Estaciones y número de estaciones</i>	20
Tabla 4	<i>Operacionalización de variables</i>	29
Tabla 5	<i>Técnicas e instrumentos de la investigación</i>	32
Tabla 6	<i>Precipitación máxima de 24h ($P_{\text{máx}}$)</i>	33
Tabla 7	<i>Métodos hidrológicos agregados en el programa computacional</i>	60
Tabla 8	<i>Resultado del análisis estadístico de la serie</i>	87
Tabla 9	<i>Estadísticos descriptivos de la serie de precipitación máxima en 24 horas</i>	88
Tabla 10	<i>Parámetros estimados de las distribuciones de probabilidad</i>	89
Tabla 11	<i>Resultados de la prueba de Kolmogorov–Smirnov ($\alpha = 0.05$; $\Delta c = 0.2550$)</i>	90
Tabla 12	<i>Resultados de la prueba de Chi-cuadrado ($\alpha = 0.05$)</i>	90
Tabla 13	<i>Resultados prueba Anderson–Darling ($\alpha = 0.05$)</i>	90
Tabla 14	<i>Distribución con mejor ajuste</i>	91
Tabla 15	<i>Precipitación máxima en 24 h con mejor ajuste (Log Pearson III)</i>	92
Tabla 16	<i>Precipitaciones desagregadas (mm) mediante el método de Dick Peschke</i>	93
Tabla 17	<i>Precipitaciones desagregadas (mm) mediante el método de Coeficientes</i>	93

Tabla 18	<i>Precipitaciones desagregadas (mm) mediante el método de Frederich Bell adaptado por Yance Tueros</i>	94
Tabla 19	<i>Intensidades (mm/h) obtenidas mediante el método de Dick Peschke</i>	95
Tabla 20	<i>Intensidades (mm/h) obtenidas mediante el método de Coeficientes</i>	96
Tabla 21	<i>Intensidades (mm/h) obtenidas mediante el método de Frederich Bell adaptado por Yance Tueros</i>	97
Tabla 22	<i>Intensidades (mm/h) obtenidas mediante el método IILA–SENAMHI–UNI</i>	98
Tabla 23	<i>Parámetros de la Ecuación IDF - modelo de Dick Peschke</i>	100
Tabla 24	<i>Parámetros de la Ecuación IDF - modelo de coeficientes</i>	100
Tabla 25	<i>Parámetros de la Ecuación IDF - modelo de Frederich Bell adaptado por Yance Tueros</i>	101
Tabla 26	<i>Parámetros de la Ecuación IDF - modelo de IILA SENAMHI UNI</i>	101
Tabla 27	<i>Hietograma de diseño - Dick Peschke; para $T = 140$ años, $t = 46\text{min}$ e $i = 2\text{min}$.</i>	102
Tabla 28	<i>Hietograma de diseño – Dick Peschke; para $T = 140$ años, $t = 60\text{min}$ e $i = 3\text{min}$</i>	102
Tabla 29	<i>Hietograma de diseño - Dick Peschke; para $T = 140$ años, $t = 75\text{min}$ e $i=3\text{min}$</i>	103
Tabla 30	<i>Hietograma de diseño – Coeficientes; para $T = 140$ años, $t = 46\text{min}$ e $i = 2\text{min}$</i>	104

Tabla 31 <i>Hietograma de diseño – Coeficientes; para $T = 140$ años, $t = 60\text{min}$ e $i = 3\text{min}$</i>	105
Tabla 32 <i>Hietograma de diseño – Coeficientes; para $T = 140$ años, $t = 75\text{min}$ e $i = 3\text{min}$</i>	105
Tabla 33 <i>Hietograma de diseño – F. Bell adaptado por Y. Tueros; para $T = 140$ años, $t = 46\text{min}$ e $i = 2\text{min}$</i>	106
Tabla 34 <i>Hietograma de diseño – F. Bell adaptado por Y. Tueros; para $T = 140$ años, $t = 60\text{min}$ e $i = 2\text{min}$</i>	107
Tabla 35 <i>Hietograma de diseño – F. Bell adaptado por Y. Tueros; para $T = 140$ años, $t = 60\text{min}$ e $i = 2\text{min}$</i>	107
Tabla 36 <i>Hietograma de diseño – IILA SENAMHI UNI; para $T = 140$ años, $t = 46\text{min}$ e $i = 2\text{min}$</i>	108
Tabla 37 <i>Hietograma de diseño – IILA SENAMHI–UNI; para $T = 140$ años, $t = 60\text{min}$ e $i = 3\text{min}$</i>	109
Tabla 38 <i>Hietograma de diseño – IILA SENAMHI–UNI; para $T = 140$ años, $t = 75\text{min}$ e $i = 3\text{min}$</i>	110
Tabla 39 <i>Comparación de los parámetros estimados de la distribución Normal entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA</i>	118
Tabla 40 <i>Comparación de los parámetros estimados de la distribución Log Normal II entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA</i>	119

Tabla 41	<i>Comparación de los parámetros estimados de la distribución Log Normal III entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA.....</i>	119
Tabla 42	<i>Comparación de los parámetros estimados de la distribución Gumbel entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA.....</i>	119
Tabla 43	<i>Comparación de los parámetros estimados de la distribución Log Pearson III entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA.....</i>	119
Tabla 44	<i>Comparación de los parámetros estimados de la distribución Gamma entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA.....</i>	120
Tabla 45	<i>Comparación de las precipitaciones máximas estimadas mediante la distribución Normal entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA</i>	120
Tabla 46	<i>Comparación de las precipitaciones máximas estimadas mediante la distribución Log Normal II entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA</i>	120
Tabla 47	<i>Comparación de las precipitaciones máximas estimadas mediante la distribución Log Normal III entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA</i>	121
Tabla 48	<i>Comparación de las precipitaciones máximas estimadas mediante la distribución Gumbel entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA.....</i>	121
Tabla 49	<i>Comparación de las precipitaciones máximas estimadas mediante la distribución Log Pearson III entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA</i>	122
Tabla 50	<i>Comparación de las precipitaciones máximas estimadas mediante la distribución Gamma entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA</i>	122

Tabla 51	<i>Precipitaciones estimadas mediante el método de Dick Peschke en Excel para diferentes duraciones y períodos de retorno</i>	123
Tabla 52	<i>Precipitaciones estimadas mediante el método de Dick Peschke en el programa desarrollado para diferentes duraciones y períodos de retorno</i>	124
Tabla 53	<i>Precipitaciones estimadas mediante el método del Coeficiente en Excel para diferentes duraciones y períodos de retorno</i>	124
Tabla 54	<i>Precipitaciones estimadas mediante el método del Coeficiente en el programa desarrollado para diferentes duraciones y períodos de retorno</i>	125
Tabla 55	<i>Precipitaciones estimadas mediante el método de Frederich Bell adaptado por Yance Tueros en Excel para diferentes duraciones y períodos de retorno</i>	125
Tabla 56	<i>Precipitaciones estimadas mediante el método de Frederich Bell adaptado por Yance Tueros en el programa desarrollado para diferentes duraciones y períodos de retorno</i>	126
Tabla 57	<i>Precipitaciones estimadas mediante el método de IILA SENAMHI UNI en Excel para diferentes duraciones y períodos de retorno</i>	127
Tabla 58	<i>Precipitaciones estimadas mediante el método de IILA SENAMHI UNI en el programa desarrollado para diferentes duraciones y períodos de retorno</i>	128
Tabla 59	<i>Comparación de los parámetros de la ecuación IDF obtenidos mediante el método de Dick Peschke entre el programa desarrollado y Excel.....</i>	128
Tabla 60	<i>Comparación de los parámetros de la ecuación IDF obtenidos mediante el método de Coeficientes entre el programa desarrollado y Excel</i>	129

Tabla 61	<i>Comparación de los parámetros de la ecuación IDF obtenidos mediante el método de Frederich Bell adaptado por Yance Tueros entre el programa desarrollado y Excel ..</i>	129
Tabla 62	<i>Comparación de los parámetros de la ecuación IDF obtenidos mediante el método de IILA SENAMHI UNI entre el programa desarrollado y Excel ..</i>	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Ciclo hidrológico</i>	9
Figura 2	<i>Curvas IDF</i>	13
Figura 3	<i>Diagrama de flujo de diseño del programa computacional</i>	31
Figura 4	<i>Diagrama de flujo: funcionamiento general del Software</i>	42
Figura 5	<i>Diagrama de flujo: diseño del módulo de gestión de datos</i>	44
Figura 6	<i>Diagrama de flujo: módulo de análisis de datos dudosos</i>	45
Figura 7	<i>Diagrama de flujo: módulo de análisis estadístico de dato</i>	46
Figura 8	<i>Diagrama de flujo de distribuciones y pruebas de bondad de ajuste</i>	47
Figura 9	<i>Diagrama de flujo de generación de curvas IDF y hietograma</i>	50
Figura 10	<i>Diagrama de flujo del método de Dick Peschke</i>	51
Figura 11	<i>Diagrama de flujo del método Frederick Bell adaptado por Yance Tueros</i>	52
Figura 12	<i>Diagrama de flujo del método de Coeficientes</i>	53
Figura 13	<i>Diagrama de flujo del método IILA–SENAMHI–UNI</i>	55
Figura 14	<i>Interfaz de inicio del programa computacional</i>	62
Figura 15	<i>Interfaz principal del programa computacional</i>	63
Figura 16	<i>Interfaz de ingreso de datos de P_{máx} de 24 horas</i>	64
Figura 17	<i>Interfaz de visualización de datos de P_{máx} de 24 horas</i>	65
Figura 18	<i>Interfaz del módulo de análisis de datos dudosos</i>	66

Figura 19	<i>Interfaz del módulo de cálculo de análisis estadístico de la serie</i>	67
Figura 20	<i>Interfaz de parámetros estadísticos de la serie de $P_{\text{máx}}$ de 24 horas</i>	68
Figura 21	<i>Interfaz de los parámetros de distribución de probabilidad, estimados por el método de momentos ordinarios</i>	69
Figura 22	<i>Ajuste gráfico de distribuciones de probabilidad acumulada para $P_{\text{máx}}$ 24h</i> ...	70
Figura 23	<i>Comparación de frecuencias observadas y teóricas para $P_{\text{máx}}$ 24h</i>	71
Figura 24	<i>Interfaz del módulo de evaluación de la bondad de ajuste mediante la prueba Kolmogorov–Smirnov</i>	72
Figura 25	<i>Interfaz del módulo de evaluación de la bondad de ajuste mediante la prueba Chi-Cuadrado</i>	73
Figura 26	<i>Interfaz del módulo de evaluación de la bondad de ajuste mediante la prueba Anderson-Darling</i>	74
Figura 27	<i>Interfaz del módulo de selección de la distribución de probabilidad</i>	75
Figura 28	<i>Precipitaciones estimadas mediante el método de Dick Peschke para diferentes periodos de retorno</i>	76
Figura 29	<i>Intensidades obtenidas mediante el método de Dick Peschke para diferentes duraciones y periodos de retorno</i>	77
Figura 30	<i>Ventanas de curvas IDF obtenidas mediante el método de Dick Peschke</i>	77
Figura 31	<i>Interfaz del método de Dick Peschke para la obtención de hietograma de diseño mediante bloques alternos</i>	78

Figura 32	<i>Precipitaciones estimadas mediante el método de Frederick Bell adapta por Yance Tueros para diferentes periodos de retorno</i>	79
Figura 33	<i>Intensidades obtenidas mediante el método de Frederick Bell adapta por Yance Tueros para diferentes duraciones y periodos de retorno.....</i>	80
Figura 34	<i>Ventanas de curvas IDF obtenidas mediante el método de Frederick Bell adaptada por Yance Tueros</i>	80
Figura 35	<i>Interfaz del método de Frederick Bell adaptada por Yance Tueros para la obtención de hietograma de diseño mediante bloques alternos</i>	81
Figura 36	<i>Precipitaciones estimadas mediante el método de Coeficientes para diferentes periodos de retorno.....</i>	82
Figura 37	<i>Intensidades obtenidas mediante el método de Coeficientes para diferentes duraciones y periodos de retorno</i>	82
Figura 38	<i>Ventanas de curvas IDF obtenidas mediante el método de Coeficientes.....</i>	83
Figura 39	<i>Interfaz del método de Coeficientes para la obtención de hietograma de diseño mediante bloques alternos</i>	83
Figura 40	<i>Interfaz del módulo del método IILA SENAMHI UNI para la estimación de intensidades</i>	84
Figura 41	<i>Intensidades obtenidas mediante el método de IILA SENAMHI UNI para diferentes duraciones y periodos de retorno</i>	85
Figura 42	<i>Ventanas de curvas IDF obtenidas mediante el método de IILA SENAMHI UNI</i>	85

Figura 43 <i>Interfaz del método de IILA SENAMHI UNI para la obtención de hietograma de diseño mediante bloques alternos</i>	86
Figura 44 <i>Detección de datos dudosos en la serie de P_{máx} de 24h</i>	111
Figura 45 <i>Comparación grafica de la distribución empírica y teórica mediante Kolgomorov - Smirnov</i>	111
Figura 46 <i>Comparación de frecuencias observadas y teóricos mediante el Chi cuadrado</i>	113
Figura 47 <i>Curvas IDF (Dick Peschke)</i>	113
Figura 48 <i>Curvas IDF (Coeficientes)</i>	114
Figura 49 <i>Curvas IDF (Frederich Bell adaptado por Yance Tueros)</i>	114
Figura 50 <i>Curvas IDF (IILA SENAMHI UNI)</i>	115
Figura 51 <i>Hietograma de diseño - método de Dick Peschke</i>	115
Figura 52 <i>Hietograma de diseño - método de Coeficientes</i>	116
Figura 53 <i>Hietograma de diseño – Método Frederich Bell adaptado por Yance Tueros</i> .	116
Figura 54 <i>Hietograma de diseño - método de IILA SENAMHI UNI</i>	117
Figura 4-1. <i>Ventana de inicio del programa Hidrology v.1.0.0.</i>	206
Figura 4-2. <i>Interfaz principal del programa</i>	207
Figura 4-3. <i>Visualización de datos de precipitación máxima de 24 horas</i>	210
Figura 4-4. <i>Botón Validar del programa</i>	210

Figura 4-5. <i>Botón Calcular del programa.</i>	211
Figura 4-6. <i>Barra de procesamiento durante el cálculo.</i>	211
Figura 4-7. <i>Resultados del análisis estadístico de la serie.</i>	213
Figura 4-8. <i>Parámetros estadísticos de la serie de precipitación máxima de 24 horas.</i>	214
Figura 4-9. <i>Parámetros de distribuciones estimados por momentos ordinarios.</i>	215
Figura 4-10. <i>Gráfico de distribución acumulada para la prueba Kolmogorov-Smirnov.</i> ..	215
Figura 4-11. <i>Gráfico de frecuencias observadas y teóricas para la prueba Chi-cuadrado.</i>	216
Figura 4-12. <i>Resultados de bondad de ajuste mediante Kolmogorov-Smirnov.</i>	216
Figura 4-13. <i>Resultados de bondad de ajuste mediante Chi-cuadrado.</i>	217
Figura 4-14. <i>Resultados de bondad de ajuste mediante Anderson-Darling.</i>	217
Figura 4-15. <i>Precipitación máxima corregida con la distribución de mejor ajuste.</i>	218
Figura 4-16. <i>Precipitaciones máximas obtenidas mediante el método de Dick Peschke.</i> .	219
Figura 4-17. <i>Intensidades máximas obtenidas mediante el método de Dick Peschke.</i>	219
Figura 4-18. <i>Curvas IDF obtenidas mediante el método de Dick Peschke.</i>	220
Figura 4-19. <i>Hietograma de diseño obtenido mediante el método de Dick Peschke.</i>	220
Figura 4-20. <i>Mensaje de advertencia para aplicar Dick Peschke en duraciones mayores.</i>	221
Figura 4-21. <i>Precipitaciones máximas obtenidas mediante el método de Coeficientes.</i>	221

Figura 4-22. <i>Intensidades máximas obtenidas mediante el método de Coeficientes.</i>	222
Figura 4-23. <i>Curvas IDF obtenidas mediante el método de Coeficientes.</i>	222
Figura 4-24. <i>Hietograma de diseño obtenido mediante el método de Coeficientes.</i>	223
Figura 4-25. <i>Precipitaciones máximas obtenidas mediante el método de Frederich Bell.</i>	224
Figura 4-26. <i>Intensidades máximas obtenidas mediante el método de Frederich Bell.</i>	224
Figura 4-27. <i>Curvas IDF obtenidas mediante el método de Frederich Bell.</i>	225
Figura 4-28. <i>Hietograma de diseño obtenido mediante el método de Frederich Bell.</i>	226
Figura 4-29. <i>Ingreso de zona, subzona y parámetros del método IILA-SENAMHI-UNI.</i> ..	227
Figura 4-30. <i>Intensidades máximas obtenidas mediante el método IILA-SENAMHI-UNI.</i>	227
Figura 4-31. <i>Curvas IDF obtenidas mediante el método IILA-SENAMHI-UNI.</i>	228
Figura 4-32. <i>Hietograma de diseño obtenido mediante el método IILA-SENAMHI-UNI.</i> ..	228
Figura 4-33. <i>Ventana para guardar proyecto HydroSoft.</i>	229
Figura 4-34. <i>Ventana de resultados del programa.</i>	229
Figura 4-35. <i>Ventana para guardar el reporte en PDF.</i>	230
Figura 4-36. <i>Ventana para guardar el reporte de hietograma en Txt.</i>	230
Figura 4-37. <i>Menú de herramientas para abrir mapa de subzona en Google Earth.</i>	231
Figura 4-38. <i>Menú de ayuda del programa.</i>	231
Figura 4-39. <i>Ventana de autor del programa Hidrology v.1.0.0.</i>	232

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Algoritmos de programación

Anexo 2 Manual de usuario

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar un programa computacional en Visual Basic, implementado en Visual Studio, para la obtención de curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) y hietogramas de diseño en la región Ayacucho, a partir de series de precipitación máxima en 24 horas. El sistema fue diseñado para procesar información de estaciones meteorológicas y registros de lluvias máximas asociados a distintos períodos de retorno. El programa integra tres componentes principales: análisis estadístico de las series de precipitación, análisis de distribuciones de probabilidad y generación de curvas IDF e hietogramas de diseño. En el análisis estadístico se evalúa la calidad y el comportamiento de los datos mediante pruebas de aleatoriedad, independencia, homogeneidad, estacionariedad y tendencia. En el análisis probabilístico se consideran los modelos Normal, Log-Normal II, Log-Normal III, Gumbel, Log-Pearson III y Gamma, verificando su ajuste con las pruebas de Kolmogorov–Smirnov, Chi-cuadrado y Anderson–Darling. Asimismo, el sistema permite generar resultados mediante los métodos de Dick Peschke, Coeficientes, Frederick Bell adaptado por Yance Tueros e IILA–SENAMHI–UNI. Además, cuenta con una interfaz gráfica que facilita el ingreso de datos, el procesamiento de la información, la visualización de resultados y la exportación de tablas y gráficos en PDF. Los resultados muestran que esta automatización mejora la rapidez, consistencia y precisión en la estimación de precipitaciones de diseño, aportando al diseño de infraestructuras hidráulicas y a la gestión del riesgo hídrico.

Palabras clave: curvas IDF, hietogramas de diseño, precipitación máxima, análisis hidrológico, Visual Basic.

ABSTRACT

The aim of this research was to develop a computer program in Visual Basic, implemented in Visual Studio, to obtain Intensity–Duration–Frequency (IDF) curves and design hyetographs for the Ayacucho region, based on 24-hour maximum rainfall series. The system was designed to process data from meteorological stations and maximum rainfall records associated with different return periods. The program includes three main components: statistical analysis of rainfall series, probability distribution analysis, and generation of IDF curves and design hyetographs. The statistical analysis evaluates data quality and behavior through tests of randomness, independence, homogeneity, stationarity, and trend. The probability analysis considers the Normal, Log-Normal II, Log-Normal III, Gumbel, Log-Pearson III, and Gamma models, whose goodness of fit is verified using the Kolmogorov–Smirnov, Chi-square, and Anderson–Darling tests. The system also generates results using the Dick Peschke, Coefficients, Frederick Bell adapted by Yance Tueros, and IILA–SENAMHI–UNI methods. In addition, it has a graphical interface that facilitates data entry, information processing, result visualization, and the export of tables and graphs in PDF format. The results show that automating these procedures improves the speed, consistency, and accuracy of design rainfall estimation, contributing to hydraulic infrastructure design and water risk management.

Keywords: IDF curves, design hyetographs, maximum rainfall, hydrological analysis, Visual Basic.

INTRODUCCIÓN

Las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) constituyen una herramienta fundamental para el dimensionamiento de sistemas de drenaje urbano, obras hidráulicas, infraestructura de riego y medidas de control de inundaciones, ya que permiten convertir el análisis estadístico de eventos extremos de precipitación en lluvias de diseño y caudales pico de proyecto. En la ingeniería hidrológica moderna, su importancia ha sido ampliamente reconocida porque sirven de base para la modelación hidrológica e hidráulica, así como para la evaluación del peligro de inundación (Yan et al., 2018). De igual manera, los hietogramas de diseño derivados de estas curvas permiten representar la distribución temporal de la lluvia y resultan esenciales para la simulación de escorrentía y el diseño hidrológico.

A nivel global y regional, la elaboración de curvas IDF presenta dos limitaciones principales: la disponibilidad reducida y la discontinuidad de los registros pluviométricos, así como la posible no estacionariedad climática, que puede generar sesgos en la estimación de eventos extremos cuando se asume una estacionariedad estricta. En zonas con escasa cobertura de estaciones meteorológicas, diversos estudios han recurrido al uso complementario de productos satelitales y rejillas de precipitación para derivar relaciones IDF, obteniendo resultados aceptables cuando se aplican distribuciones de probabilidad y técnicas de ajuste adecuadas (Lau & Behrangi, 2022). Asimismo, se han propuesto enfoques que incorporan señales de cambio climático y escalamiento multitemporal con el fin de preservar la utilidad de las curvas IDF en horizontes de diseño más amplios (Yan et al., 2018).

En el Perú, la disponibilidad y calidad de la información pluviométrica se ha fortalecido mediante iniciativas institucionales y el desarrollo de productos grillados como PISCO_p-h y RAIN4PE, los cuales amplían la base de datos para el análisis de extremos de precipitación, especialmente en zonas andinas donde la red convencional presenta menor densidad (Huerta et al., 2022). Del mismo modo, existen recursos oficiales y documentos técnicos que muestran la evolución metodológica en la estimación de curvas IDF, desde los estudios promovidos por el SENAMHI hasta herramientas más recientes de consulta y análisis (Montesinos, Lavado y Quijada, 2023). Este panorama resulta especialmente relevante para Ayacucho, donde la complejidad orográfica influye en la representatividad espacial de la precipitación y hace necesario contar con procedimientos reproducibles, consistentes y técnicamente sustentados para la obtención de curvas IDF e hietogramas de diseño. Sin embargo, el cálculo y la representación de curvas IDF e hietogramas de diseño suelen requerir una secuencia extensa de tareas, entre ellas la recopilación y depuración de

datos, el análisis estadístico de las series, la selección y ajuste de distribuciones de probabilidad, la estimación de precipitaciones de diseño, la parametrización de ecuaciones y la elaboración de tablas y gráficos. Cuando estas actividades se realizan de forma manual o mediante herramientas no integradas, aumenta la posibilidad de errores, inconsistencias y demoras en el procesamiento. Frente a esta situación, la automatización a través de programas computacionales especializados representa una alternativa pertinente para estandarizar procedimientos, reducir errores operativos y mejorar la eficiencia en la generación de resultados hidrológicos (Chang et al., 2013).

En este contexto, la presente investigación se orienta al desarrollo de un programa computacional implementado en Visual Basic para la obtención de curvas IDF y hietogramas de diseño en Ayacucho, a partir de series de precipitación máxima en 24 horas. El programa integra procedimientos de análisis estadístico, ajuste de distribuciones de probabilidad, estimación de precipitaciones de diseño y generación de resultados numéricos y gráficos, incorporando además distintos métodos hidrológicos de aplicación práctica. De este modo, se propone una herramienta que contribuya a mejorar la rapidez, consistencia y confiabilidad del análisis hidrológico, brindando soporte técnico para el diseño de infraestructura hidráulica y la gestión del riesgo hídrico.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A nivel mundial, el cambio climático y la variabilidad de los regímenes de precipitación han intensificado la ocurrencia de eventos extremos de lluvia, generando inundaciones y sequías que afectan significativamente a las infraestructuras hidráulicas y agrícolas (Chow et al., 1994). El diseño de obras de drenaje, alcantarillado pluvial, presas, sistemas de riego y estructuras de conservación de suelos requiere un conocimiento preciso del comportamiento de las precipitaciones extremas. Para ello, es fundamental contar con las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) y los hietogramas de diseño, los cuales permiten estimar los caudales máximos de escorrentía y garantizar la seguridad de estas infraestructuras (Pizarro et al., 2007). Sin embargo, en muchas regiones del mundo, especialmente en países en desarrollo, existe una carencia significativa de estaciones pluviográficas que registren la precipitación en intervalos de tiempo cortos, lo que limita la disponibilidad de datos de alta resolución temporal necesarios para el análisis hidrológico detallado.

En el Perú, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) opera una red de estaciones pluviométricas que registran principalmente precipitaciones máximas en 24 horas (SENAMHI, 2021). Esta limitación es particularmente crítica en la región de Ayacucho, donde la disponibilidad de datos subdiarios es escasa. La mayoría de estaciones cuentan únicamente con registros de precipitación máxima en 24 horas, lo que obliga a los ingenieros y proyectistas a recurrir a métodos empíricos y analíticos para desagregar la precipitación de 24 horas y generar las curvas IDF necesarias para el diseño de obras hidráulicas y agrícolas.

El proceso de cálculo manual de estas curvas, así como la selección de la distribución de probabilidad teórica que mejor se ajuste a los datos (Gumbel, Log Normal, Log Pearson tipo III, etc.), resulta ser un procedimiento tedioso, prolongado y susceptible a errores humanos (Paliz et al., 2021). Además, la falta de herramientas informáticas accesibles y adaptadas a las metodologías locales (como el método IILA-SENAMHI) dificulta la optimización del tiempo en la fase de diseño hidrológico, retrasando la ejecución de proyectos de infraestructura y aumentando los costos de consultoría.

En este contexto, el uso de programación en Visual Basic para automatizar procedimientos técnicos constituye una alternativa aplicable al procesamiento de metodologías de ingeniería (Benavides Muñoz, 2025). La presente investigación pretende mejorar significativamente la eficiencia, precisión

y accesibilidad del análisis hidrológico en la región de Ayacucho mediante: (a) la automatización de cálculos complejos que actualmente se realizan de forma manual o mediante hojas de cálculo convencionales; (b) la integración de múltiples métodos de desagregación de precipitación (Dick Peschke, Coeficientes, Frederick Bell y IILA-SENAMHI-UNI) en una sola plataforma; (c) la implementación de análisis estadísticos rigurosos para la selección de distribuciones de probabilidad; y (d) la generación de resultados confiables y validados que faciliten la toma de decisiones en proyectos de ingeniería agrícola e hidráulica (Stenta et al., 2005). Esta herramienta contribuirá a mejorar la calidad del diseño de infraestructuras, reducir tiempos de procesamiento y democratizar el acceso a metodologías hidrológicas avanzadas para profesionales e instituciones académicas en la región.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema principal

¿De qué manera el desarrollo de un programa computacional mediante Visual Basic 10?9 optimizará la obtención de curvas IDF y hietogramas de diseño a partir de datos de precipitación máxima en 24 horas en la región de Ayacucho?

1.2.2. Problemas secundarios

- ¿Se puede precisar un modelo matemático adecuado dentro del programa computacional que represente correctamente el comportamiento de las precipitaciones extremas y permita la obtención confiable de curvas IDF y hietogramas de diseño?
- ¿Funcionará correctamente la herramienta digital desarrollada para graficar las curvas IDF y hietogramas, generando resultados precisos y visualizaciones claras que faciliten la interpretación de los datos hidrológicos?
- ¿Será posible elaborar un manual de usuario completo y comprensible que permita a los usuarios finales (ingenieros, técnicos y estudiantes) utilizar el programa computacional de manera efectiva sin requerir conocimientos profundos de programación?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un programa computacional para obtener curvas IDF y hietogramas de diseño mediante el Visual Basic 10.9 - Ayacucho – 2022.

1.3.2. Objetivos específicos

- Precisar un modelo matemático del programa computacional para obtener las curvas IDF y hietograma.
- Comprobar el correcto funcionamiento de la herramienta digital para graficar las curvas IDF y Hietograma.
- Elaborar un manual de usuario para el programa computacional, elaborado, para un fácil entendimiento de los usuarios.

1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Hipótesis general

Es posible desarrollar un programa computacional mediante Visual Basic 10.9 que obtenga curvas IDF y hietogramas de diseño de manera eficiente, precisa y accesible para los profesionales de ingeniería agrícola e hidráulica en la región de Ayacucho.

1.4.2. hipótesis específicas

- Se puede precisar un modelo matemático adecuado en el programa computacional que integre correctamente los métodos de desagregación de precipitación y las distribuciones de probabilidad, permitiendo la obtención confiable de curvas IDF y hietogramas de diseño.
- La herramienta digital desarrollada funcionará correctamente para graficar las curvas IDF y hietogramas, generando resultados precisos, visualizaciones claras y confiables que faciliten la interpretación y aplicación de los datos hidrológicos en proyectos de ingeniería.
- Es factible elaborar un manual de usuario completo, claro y comprensible que permita a los usuarios finales (ingenieros, técnicos, estudiantes e investigadores) utilizar el programa computacional de manera efectiva, independientemente de su nivel de experiencia en programación.

1.5. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se justifica desde el punto de vista técnico y práctico, ya que el diseño adecuado de infraestructuras hidráulicas depende en gran medida de la estimación correcta de las precipitaciones extremas y caudales de diseño. Las curvas IDF y los hietogramas son herramientas indispensables en la hidrología urbana y agrícola (Pizarro et al., 2007). Sin embargo, la limitación de

datos subdiarios en la región de Ayacucho representa un desafío significativo. Al desarrollar un software en Visual Basic, se proporciona a los profesionales de la ingeniería agrícola y civil una herramienta automatizada, intuitiva y adaptada a las metodologías locales (como el método IILA-SENAMHI-UNI), lo que permite agilizar los cálculos hidrológicos que tradicionalmente demandan mucho tiempo y esfuerzo (Stenta et al., 2005).

Desde una perspectiva metodológica, el proyecto sistematiza y consolida diferentes métodos empíricos de desagregación de lluvias y distribuciones de probabilidad en una sola plataforma, estandarizando el proceso de análisis hidrológico-estadístico. Asimismo, desde el ámbito académico, el programa servirá como herramienta de apoyo para estudiantes e investigadores, facilitando la comprensión práctica de las curvas IDF e hietogramas de diseño, en concordancia con antecedentes locales de aplicación de Visual Basic en herramientas computacionales para ingeniería hidráulica (Gutiérrez, 2014).

1.6. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.6.1. Espacial

El estudio y la aplicación del programa computacional se circunscriben a la información pluviométrica de las estaciones meteorológicas ubicadas en la región de Ayacucho, Perú, considerando sus características geográficas y climáticas particulares.

1.6.2. Temporal

La investigación y el desarrollo del software se enmarcan en el año 2022. Para el análisis hidrológico, se utilizó series históricas de precipitación máxima en 24 horas con un periodo de registro estadísticamente representativo disponible hasta dicho año.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. internacional

Chow et al. (1998) Sentaron las bases metodológicas fundamentales para el cálculo de curvas IDF, proponiendo métodos de ajuste estadístico y modelamiento hidrológico aplicables en diversos entornos. Su obra constituye un referente académico esencial en el ámbito de la hidrología aplicada.

Felix et al. (2021) generaron curvas IDF para la cuenca media del río Chone, utilizando datos pluviométricos hasta 2015. Se eligió la estación CHONE-U Católica como representativa de la cuenca y se ajustaron distribuciones probabilísticas (Gumbel y Log-Pearson Tipo III) mediante el software AX.EXE. A partir de las curvas generadas, se analizó cómo las intensidades de precipitación varían con la duración y el período de retorno, confirmando que, a mayor duración, menor es la intensidad, y a mayor período de retorno, mayor es la intensidad. Los resultados mostraron que las intensidades obtenidas fueron menores que las de estudios previos del INAMHI, especialmente en períodos largos. La comparación con estudios previos (1999, 2015) evidenció diferencias en las intensidades, y se destacó la escasez de datos pluviométricos y la falta de confiabilidad en los valores para períodos de retorno largos.

A su vez, Martínez (2023) evaluó las precipitaciones registradas en Cuenca en los últimos años para determinar las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF) de las estaciones analizadas. La metodología incluyó el procesamiento y validación de datos de 20 estaciones meteorológicas y pluviométricas, seleccionando aquellas con al menos 5 años de registro. Se utilizó el método índice de tormenta para algunas estaciones con datos limitados. Los resultados permitieron generar expresiones de frecuencia que facilitan la estimación de precipitaciones en áreas sin datos pluviométricos. Las conclusiones destacan la importancia de estas curvas para la planificación y control de proyectos de ingeniería, al proporcionar información precisa sobre la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones.

2.1.2. Nacional

Montesinos et al. (2023) desarrollaron una herramienta web geográfica para la utilización de curvas IDF en diferentes escenarios de cambio climático, dirigida a ingenieros, tomadores de decisiones, académicos y la población en general. La investigación empleó una metodología que agrupa estaciones de medición con características similares de precipitación, influenciadas por factores geográficos y climáticos. Se identificaron regiones homogéneas en Perú utilizando el agrupamiento jerárquico de Ward y predictores físicos, validando la homogeneidad mediante pruebas de discordancia y heterogeneidad. Además, se ajustó la distribución más adecuada con el estadístico Z_DIST y el diagrama de L-momentos. Los resultados mostraron que las precipitaciones máximas anuales no presentan tendencias en un 5 %, lo que sugiere series estacionarias, y las pruebas de independencia serial confirmaron la ausencia de correlación serial. El análisis identificó 30 regiones homogéneas, distribuidas en la costa, Andes y selva. Las distribuciones GLO y GEV fueron las más adecuadas, con un aumento de lluvias hacia el noreste y noroeste.

En la investigación de Vega (2023) modelaron la intensidad de lluvia con duración subdiaria en la región de Lima bajo un enfoque bayesiano, generando curvas IDF. Se utilizaron técnicas bayesianas para reducir la incertidumbre en la predicción de eventos extremos, empleando datos de estaciones automáticas con registros históricos de menos de 20 años. Los resultados mostraron que el modelo bayesiano, al estimar la máxima intensidad de lluvia para 24 horas usando la distribución GEV y el método bootstrap resampling, ofrece intervalos de confianza más ajustados al 95 %, con menor incertidumbre en comparación con el enfoque frecuentista. Las curvas IDF para periodos de retorno de 2 a 100 años también revelaron que el modelo bayesiano brinda predicciones más precisas. Además, se validó la propiedad de escalamiento simple, lo que permitió aplicar los parámetros obtenidos a diferentes duraciones subdiarias, demostrando la viabilidad del enfoque bayesiano para el análisis de eventos extremos.

2.2. BASES TEÓRICAS

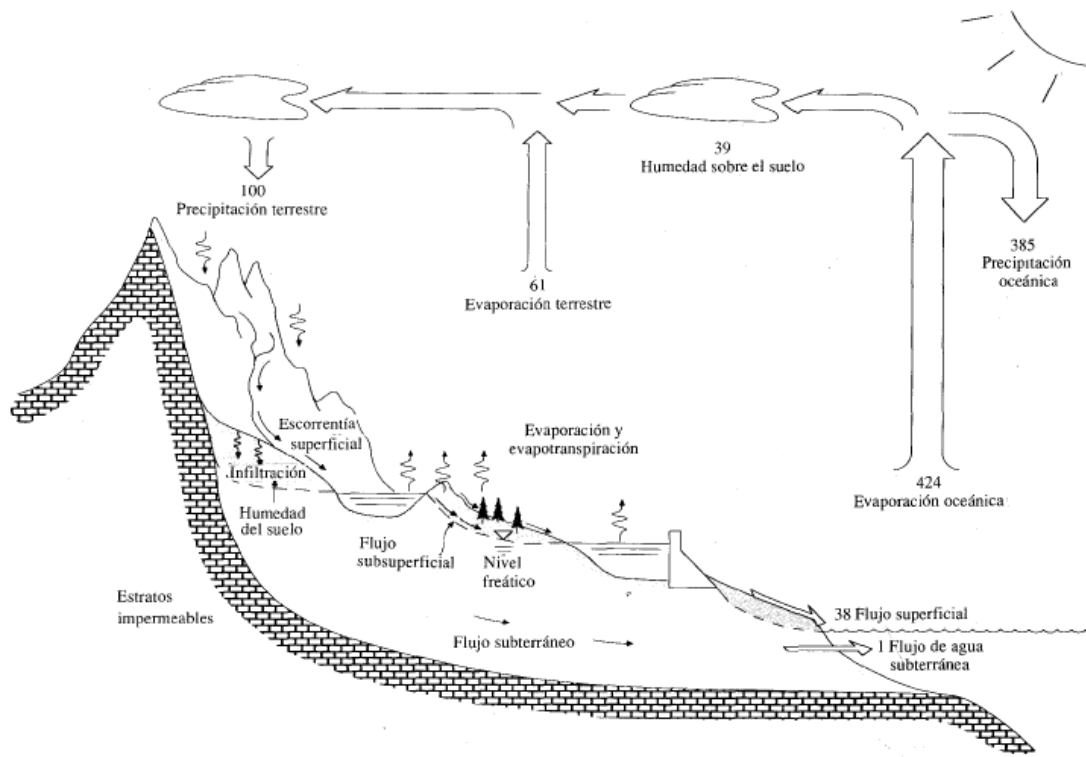
2.2.1. Fundamentos de Hidrología Aplicada

2.2.1.1. Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es un proceso continuo y dinámico en el que el agua circula por distintas fases interrelacionadas, formando un sistema cerrado que permite su renovación constante y su disponibilidad para los seres vivos (Maderey, 2005).

Figura 1

Ciclo hidrológico



Fuente: Chow, Maidment y Mays (1993).

El ciclo hidrológico es el proceso continuo de circulación del agua en la naturaleza, mediante el cual esta se evapora desde la superficie terrestre, asciende a la atmósfera, se condensa formando nubes y retorna en forma de precipitación. Luego de llegar a la superficie, el agua puede escurrir, infiltrarse, evaporarse nuevamente o ser interceptada, manteniéndose así un movimiento permanente entre la atmósfera, la superficie y el subsuelo (Aparicio, 1992).

2.2.1.2. Precipitación: conceptos y características

La precipitación es el retorno del agua atmosférica a la superficie terrestre en forma líquida o sólida y constituye uno de los componentes más importantes del ciclo hidrológico, por lo que representa una variable fundamental en la ingeniería del agua y en la agricultura (Ahrens & Henson, 2019; Lawrence, 2015).

Para fines de diseño hidráulico, la precipitación no debe analizarse únicamente a partir de su magnitud total, sino también mediante sus principales características, como la intensidad, la duración

y la frecuencia, debido a que estas condicionan la infiltración, la escorrentía superficial, la recarga hídrica y la respuesta hidrológica de la cuenca. Asimismo, estas variables constituyen la base para la construcción de curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) y hietogramas de diseño (Lawrence Dingman, 2015).

La precipitación depende de diversos mecanismos atmosféricos y presenta una marcada variabilidad espacial y temporal. En particular, los eventos convectivos suelen caracterizarse por altas intensidades y corta duración, mientras que los eventos estratiformes presentan menor intensidad y mayor duración. Esta diferencia influye directamente en la distribución temporal de la lluvia y en su impacto hidrológico, aspecto relevante para el análisis de eventos extremos y la interpretación de series pluviométricas (Ahrens & Henson, 2019).

En regiones montañosas, como gran parte del territorio andino, la orografía y los patrones atmosféricos influyen en la distribución espacial de la lluvia, lo que puede limitar la representatividad de las estaciones de medición. Por ello, el estudio de la precipitación requiere considerar no solo su magnitud, sino también su comportamiento temporal y espacial, especialmente cuando se emplea como base para la estimación de precipitaciones de diseño.

2.2.1.3. Precipitación máxima de 24 horas

La precipitación máxima de 24 horas se define como la mayor cantidad de lluvia acumulada, medida en milímetros (mm), que registra un pluviómetro durante un período continuo de veinticuatro horas dentro de un intervalo de observación determinado.

2.2.1.4. Intensidad, duración y frecuencia de la lluvia

La lluvia se caracteriza en hidrología mediante tres variables fundamentales: intensidad, duración y frecuencia. La intensidad expresa la tasa de precipitación en un intervalo determinado, la duración corresponde al tiempo durante el cual ocurre el evento y la frecuencia se relaciona con la probabilidad de ocurrencia de una lluvia de determinada magnitud. Estas variables constituyen la base conceptual para el análisis hidrológico de eventos de lluvia y para la construcción de curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) (Lawrence Dingman, 2015; Lanciotti et al., 2022).

2.2.1.5. Importancia de la información pluviométrica

La información pluviométrica constituye un insumo fundamental para la planificación, gestión y diseño de obras hidráulicas y agrícolas, debido a que permite cuantificar la disponibilidad hídrica y sustentar decisiones relacionadas con balances de agua, programación del riego, almacenamiento y manejo del recurso hídrico (Steduto et al., 2012). En hidrología aplicada, las series de precipitación resultan esenciales para el análisis de eventos extremos, ya que a partir de ellas se estiman precipitaciones de diseño y se construyen curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) e hietogramas, herramientas indispensables para el dimensionamiento de drenajes, canales y otras obras frente a lluvias intensas.

La utilidad de esta información depende, sin embargo, de la calidad, longitud, continuidad y resolución temporal de los registros, puesto que estos factores influyen directamente en la confiabilidad de los análisis hidrológicos y en la precisión de los resultados obtenidos (Natali et al., 2021; Zhu et al., 2022b). Asimismo, para la gestión del riesgo agroclimático y la toma de decisiones técnicas, se requieren redes de observación continuas y procedimientos adecuados de medición, control y tratamiento de datos, de modo que la información generada sea representativa y útil para fines de diseño y planificación (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, 2020).

2.2.1.6. Calidad de datos y resolución temporal

La calidad de los datos pluviométricos condiciona directamente la confiabilidad de cualquier análisis hidrológico y, en particular, la estimación de eventos extremos, curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) e hietogramas de diseño. En este sentido, las buenas prácticas de observación meteorológica exigen contar con metadatos completos sobre cambios de instrumento, ubicación de la estación, calibración y mantenimiento, así como verificar la representatividad del punto de medición y aplicar procedimientos de aseguramiento de la calidad para reducir sesgos asociados a fallas instrumentales, condiciones de exposición o alteraciones no climáticas. Estos criterios han sido ampliamente reconocidos en las guías de observación e instrumentación meteorológica, que destacan la importancia del control de calidad y de la adecuada documentación de los registros (World Meteorological Organization, 2006).

En el contexto peruano, el control de calidad de la información meteorológica se realiza mediante procedimientos automáticos y manuales, tales como validación por límites, consistencia temporal, uso de banderas de calidad y revisión diferida, con el propósito de asegurar bases de datos confiables

para la toma de decisiones hidrometeorológicas. Estas prácticas se encuentran formalizadas en manuales técnicos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, los cuales establecen criterios y procedimientos específicos para el tratamiento de datos meteorológicos, incluida la precipitación (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2022).

Por otro lado, la resolución temporal de los registros constituye un aspecto fundamental en la estimación de lluvias intensas de corta duración. Para aplicaciones hidrológicas orientadas al diseño de drenajes y a la construcción de curvas IDF, los registros horarios o subhorarios permiten representar con mayor precisión los máximos de lluvia y los picos de escorrentía. Cuando únicamente se dispone de información diaria o de resolución horaria agregada, la estimación de eventos extremos de corta duración puede verse afectada, por lo que resulta necesario recurrir a métodos de escalamiento o desagregación temporal para derivar intensidades de diseño a partir de series de menor resolución (Sun et al., 2019).

2.2.2. Eventos extremos, excedencias y periodos de retorno

2.2.2.1. Eventos extremos de precipitación

En hidrología, los eventos extremos de precipitación corresponden a lluvias poco frecuentes, pero de gran magnitud, cuya importancia radica en que pueden generar escorrentías intensas, inundaciones y mayores exigencias de seguridad en el diseño de obras hidráulicas. Su análisis suele realizarse a partir de series de valores extremos, como los máximos anuales, o mediante el estudio de eventos que superan un determinado umbral, ya que estos enfoques permiten describir estadísticamente los episodios más severos de precipitación y estimar su comportamiento probabilístico (Coles, 2001).

2.2.2.2. Probabilidad de excedencia

La probabilidad de excedencia se entiende como la probabilidad de que una variable hidrológica, como la precipitación o la intensidad de lluvia, alcance o supere un valor específico dentro de un período de tiempo determinado. Este concepto permite relacionar una magnitud hidrológica con su posibilidad de ocurrencia y constituye una base esencial para el análisis de frecuencia de eventos extremos y la estimación de lluvias de diseño (Coles, 2001).

2.2.2.3. Período de retorno

El período de retorno se define como el intervalo promedio de tiempo en el que se espera que un evento de determinada magnitud sea igualado o superado al menos una vez. En hidrología, este

concepto se interpreta como el inverso de la probabilidad anual de excedencia, bajo el supuesto de independencia y estacionariedad de los eventos. Por esta razón, se utiliza como una medida probabilística del riesgo en el diseño hidrológico y suele expresarse en períodos de 10, 25, 50 o 100 años (Coles, 2001).

2.2.3. Análisis Estadístico de datos hidrológicos

La estadística hidrológica aplica modelos probabilísticos para describir la variabilidad de la precipitación y estimar cuantiles de diseño a partir de muestras finitas, combinando: (i) selección de una familia de distribuciones, (ii) estimación de parámetros, (iii) verificación de supuestos (aleatoriedad, independencia, homogeneidad y tendencia), y (iv) cuantificación de incertidumbre. Esta estructura metodológica es consistente con la práctica estándar en análisis hidrológico y en textos de estadística aplicada a recursos hídricos (Helsel et al., 2020).

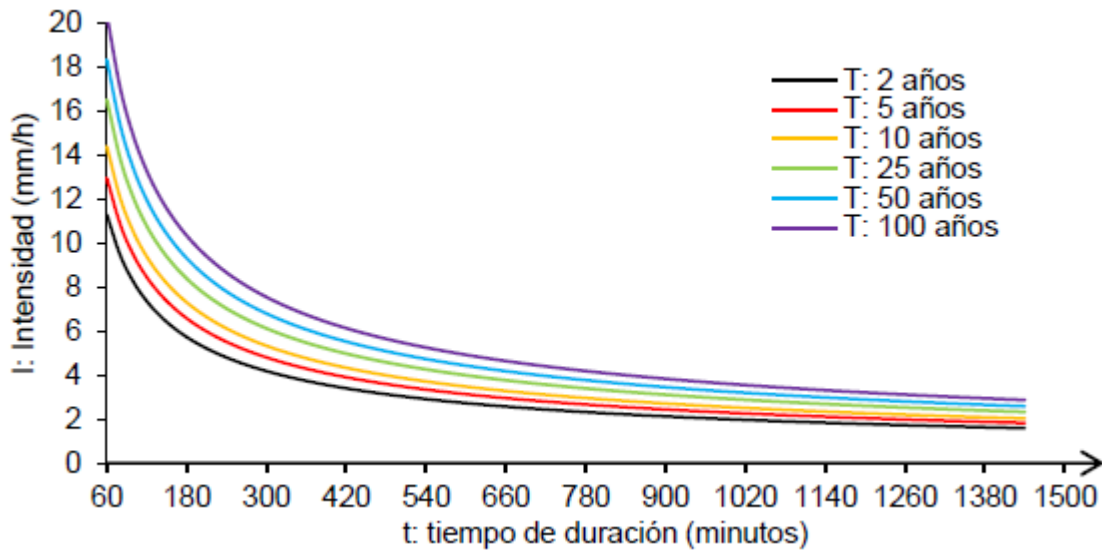
2.2.4. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)

2.2.4.1. Definición y utilidad de las curvas IDF

Las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) son relaciones matemáticas y gráficas que expresan la intensidad media de precipitación asociada a una duración determinada y a un periodo de retorno específico. En términos prácticos, permiten estimar la intensidad de lluvia esperada para intervalos de tiempo como 5, 15 o 60 minutos, vinculándola con una probabilidad de ocurrencia o excedencia. Por ello, constituyen una herramienta fundamental para la definición de tormentas de diseño y el dimensionamiento de obras hidráulicas (Lanciotti et al., 2022; Lau & Behrangi, 2022).

Figura 2

Curvas IDF



Fuente: Adaptado de Suárez-Aguilar et al. (2020).

Desde el punto de vista metodológico, la construcción de las curvas IDF parte del análisis de series pluviométricas, a partir de las cuales se extraen eventos extremos para diferentes duraciones de interés. Posteriormente, estos valores se someten al ajuste de distribuciones de probabilidad con el fin de estimar cuantiles asociados a distintos periodos de retorno. Finalmente, la relación entre intensidad, duración y frecuencia se representa en forma gráfica o mediante ecuaciones empíricas continuas, lo que facilita su aplicación en cálculos hidrológicos y en herramientas computacionales (Yan et al., 2018).

La utilidad de las curvas IDF es amplia en la ingeniería hidráulica y agrícola, ya que sirven para el diseño de drenajes urbanos y rurales, canales, alcantarillas, obras de control de escorrentía y otras infraestructuras relacionadas con el manejo del agua. Asimismo, permiten estimar caudales máximos de escorrentía y constituyen la base para la elaboración de hietogramas de diseño, los cuales son necesarios para la simulación de eventos de lluvia en modelos hidrológicos. Sin embargo, su confiabilidad depende de factores como la longitud y calidad de los registros, la resolución temporal de los datos, el método de selección de eventos extremos y la distribución probabilística utilizada en el ajuste. Además, en zonas con escasa información pluviométrica, la literatura reciente destaca el uso complementario de productos satelitales y otras fuentes de información para mejorar la representatividad espacial de las estimaciones (Lanciotti et al., 2022; Lau & Behrangi, 2022). En el marco de la presente investigación, las curvas IDF constituyen un componente central tanto en el desarrollo teórico como en la implementación del programa computacional en Visual Basic. En ese

sentido, el software debe permitir el ingreso y procesamiento de series pluviométricas, la extracción de máximos para distintas duraciones, el ajuste de distribuciones de probabilidad y la generación automática de curvas IDF e hietogramas de diseño para diferentes periodos de retorno. De esta manera, la herramienta propuesta busca contribuir al análisis hidrológico aplicado en Ayacucho, ofreciendo resultados útiles para el diseño y evaluación de infraestructura hidráulica.

2.2.4.2. Desagregación de precipitación máxima de 24h

Debido a la escasa disponibilidad de registros pluviográficos, en muchos casos la desagregación de precipitaciones debe realizarse a partir de la precipitación máxima en 24 horas. Este procedimiento permite estimar lluvias e intensidades para duraciones menores, necesarias para la construcción de curvas IDF y hietogramas de diseño.

a) Método de Dick Peschke

Este método se emplea para estimar la precipitación máxima de corta duración a partir de la precipitación máxima en 24 horas. Su expresión es:

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25} \quad (1)$$

Donde:

P_d : precipitación total para una duración d , en mm.

P_{24h} : precipitación máxima en 24 horas, en mm.

d : duración de la tormenta, en minutos.

La intensidad se obtiene dividiendo la precipitación calculada entre la duración de la tormenta.

b) Método de coeficientes

Este método estima la precipitación máxima para distintas duraciones mediante coeficientes aplicados a la precipitación máxima en 24 horas. La relación es:

$$P_t = C_t \cdot P_{24h} \quad (2)$$

Donde:

P_t : precipitación máxima para la duración t , en mm.

C_t : coeficiente de duración.

P_{24h} : precipitación máxima en 24 horas, en mm

La intensidad correspondiente se calcula mediante:

$$i(t) = \frac{P_t}{t} \quad (3)$$

Donde:

$i(t)$: intensidad media, en mm/h

t : duración de la tormenta, en horas.

c) Método de Frederick Bell adaptado por Yance Tueros

Este método permite estimar precipitaciones máximas para distintas duraciones y periodos de retorno a partir de una lluvia índice de una hora y diez años. La expresión es:

$$P_t^T = (0.21 \ln T + 0.52)(0.54t^{0.25} - 0.50)P_{60,10} \quad (4)$$

Donde:

P_t^T : precipitación máxima para duración t y periodo de retorno T , en mm

t : duración, en minutos

T : periodo de retorno, en años

$P_{60,10}$: precipitación máxima de 60 minutos y 10 años, en mm

La intensidad se obtiene con:

$$i(t, T) = \frac{P_t^T}{t/60} \quad (5)$$

Cuando no se dispone de $P_{60,10}$, esta puede estimarse mediante el modelo de Yance Tueros:

$$I = aP_{24}^b \quad (6)$$

Donde:

I : intensidad horaria máxima, en mm/h

P_{24} : precipitación máxima en 24 horas, en mm

a, b : 0.4602 y 0.876 parámetros empíricos

2.2.4.3. Método de IILA–SENAMHI–UNI

En el Perú, la disponibilidad de registros pluviográficos (subhorarios) es limitada; por ello, en muchos proyectos las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) se construyen indirectamente a partir de series de precipitación máxima diaria (24 h), mediante relaciones empíricas de distribución temporal y/o ecuaciones regionales. En términos de diseño, la intensidad para una duración t y periodo de retorno T se define como (Diario Oficial el Peruano, 2021; Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2011):

$$i(t, T) = \frac{P(t, T)}{t} \quad (7)$$

donde $P(t, T)$ es la profundidad asociada a t y T , e $i(t, T)$ es la intensidad media en esa duración.

Bajo este enfoque, primero se estima $P_{24, T}$ (precipitación máxima en 24 h para el periodo T) mediante análisis de frecuencia; luego se obtiene $P(t, T)$ y $i(t, T)$ para duraciones menores con alguno de los métodos siguientes.

El método IILA–SENAMHI–UNI es un procedimiento de estimación indirecta de precipitaciones e intensidades máximas anuales desarrollado para el Perú, para lluvias con duraciones entre 3 y 24 horas, la intensidad se calcula mediante:

$$i_{t, T} = a(1 + K'_g \log T) t^{n-1} \quad (8)$$

Para duraciones menores de 3 horas, se emplea la siguiente expresión:

$$i_{t,T} = a(1 + K'_g \log T) (t + b)^{n-1} \quad (9)$$

La relación entre la intensidad y la altura de lluvia está dada por:

$$i_{t,T} = \frac{h_{t,T}}{t} \quad (10)$$

Además, el parámetro a puede determinarse mediante:

$$a(z) = \varepsilon_g(z) t_g^n = \varepsilon_g(z) 15.2^n \quad (11)$$

Donde:

$i_{t,T}$: intensidad de lluvia para una duración t y un período de retorno T

$h_{t,T}$: altura de lluvia para una duración t y un período de retorno T

T : período de retorno, en años

t : duración de la lluvia, en horas

b : factor de ajuste para duraciones menores de 3 horas

K'_g : constante propia de cada zona pluviométrica

a : constante característica de la subzona

n : exponente característico de la subzona

$\varepsilon_g(z)$: función regional según la ubicación

t_g : duración equivalente al día, con un valor medio de 15.2 horas

Tabla 1*Valores del factor b según región*

Región	Valor de (b)
Costa centro y sur	0.5 h
Sierra	0.4 h
Costa norte y selva	0.2 h

Tabla 2*Valores de los parámetros $k'g$ y ε_g en función a la zona*

Zona	(k'_g)	Subzona	ε_g
123	0.553	123 ₁	85.0
		123 ₂	75.0
		123 ₃	100 - 0.022Y
		123 ₄	70 - 0.019Y
		123 ₅	24.0
		123 ₆	30.5
		123 ₇	-2 + 0.006Y
		123 ₈	26.6
		123 ₉	23.3
		123 ₁₀	6 + 0.005Y
		123 ₁₁	1 + 0.005Y
		123 ₁₂	75.0
		123 ₁₃	70.0
4	0.861	4 ₁	20.0
		5a ₁	-7.6 + 0.006Y (Y > 2300)
		5a ₂	32 - 0.177Dc
		5a ₃	-13 + 0.010Y (Y > 2300)
		5a ₄	3.8 + 0.0053Y (Y > 1500)
		5a ₅	0.007Y - 6 (Y > 2300)
		5a ₆	1.4 + 0.0067
		5a ₇	0.007Y - 2 (Y > 2000)
		5a ₈	24 + 0.0025Y
		5a ₉	9.4 + 0.0067Y
		5a ₁₀	18.8 + 0.0028Y
		5a ₁₁	32.4 + 0.004Y
		5a ₁₂	19 + 0.005Y
		5a ₁₃	23 + 0.0143Y

Zona	(k'g)	Subzona	ε_g
		5 _{a14}	4 + 0.010Y
		5 _{b1}	4 + 0.010 (Y > 1000)
		5 _{b2}	41.0
5b	$k'g = 130. \varepsilon g^{-1.4}$	5 _{b3}	23 + 0.143Y
		5 _{b4}	32.4 + 0.004Y
		5 _{b5}	9.4 + 0.0067Y
6	$k'g = 5.4. \varepsilon g^{-0.6}$	6 ₁	30 - 0.50Dc
		9 ₁	61.5
9	$k'g = 11. \varepsilon g^{-0.85}$	9 ₂	0.323Dm - 4.5 (30 < Dm < 110)
		9 ₃	31 + 0.475(Dm - 110) (Dm < 110)
10	1.45	10 ₁	12.5 + 0.95Dm

Fuente: Iila -Senamhi -Uni. (1983). Estudio de la hidrología del Perú – volumen III. Perú

Tabla 3

Estaciones y número de estaciones

Sub zona	Estación	N.º total de estaciones	Valor de (n)	Valor de (a)
123 ₁	321-385	2	0.357	32.2
123 ₃	384-787-805	3	0.405	37.82 - 0.0083Y
123 ₁₃	244-193	2	0.432	—
123 ₅	850-903	2	0.353	9.2
123 ₆	840-913-918-958	4	0.380	11.0
123 ₈	654-674-679-709-713-714-732-	9	0.232	14.0
123 ₉	769	1	0.242	12.1
123 ₁₀	446-557-594-653-672-696-708-	14	0.254	3.01 + 0.0025Y
123 ₁₁	508-667-719-750-771	5	0.286	0.46 + 0.0023Y
5 _{a2}	935-968	2	0.301	14.1 - 0.078Dc
5 _{a5}	559	1	0.303	-2.6 + 0.0031Y
5 _{a10}	248	1	0.434	5.80 + 0.00009Y

Fuente: Iila -Senamhi -Uni. (1983). Estudio de la hidrología del Perú – volumen III. Perú

Donde:

Y: altitud en m s. n. m.

Dc: distancia a la cordillera, en km

Dm: distancia al mar, en km

2.2.4.4. Representación de las curvas IDF mediante expresiones matemáticas

Una vez obtenidas las intensidades para distintas duraciones y periodos de retorno, puede ajustarse una ecuación general de curvas IDF:

$$I = \frac{K T_r^m}{d^n} \quad (12)$$

Donde:

I : intensidad máxima, en mm/h

K, m, n : parámetros característicos

T_r : periodo de retorno, en años

d : duración, en minutos

Para estimar los parámetros, la ecuación se linealiza:

$$\log I = \log K + m \log T_r - n \log d \quad (13)$$

Definiendo

$$Y = \log I, A = \log K, B = m, X_1 = \log T_r, X_2 = \log d, C = -n$$

$$Y = A + BX_1 + CX_2$$

Finalmente, los parámetros se calculan como:

$$K = 10^A, m = B, n = -C$$

2.2.4.5. Aplicaciones de las curvas IDF en obras hidráulicas y agrícolas

Las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) permiten estimar la intensidad media de precipitación asociada a una duración específica y a un período de retorno determinado, por lo que constituyen un insumo fundamental para transformar la lluvia en caudal de diseño mediante métodos hidrológicos basados en eventos. En la práctica de la ingeniería, estas intensidades alimentan procedimientos como el método racional, ampliamente utilizado en estudios de drenaje, y también sirven de base para la construcción de tormentas de diseño o hietogramas, requeridos en modelos lluvia–escorrentía para estimar hidrogramas y caudales pico (Chow et al., 1988; Kilgore et al., 2022).

En el drenaje pluvial urbano y vial, las curvas IDF se emplean para dimensionar sumideros, cunetas, colectores, alcantarillas pluviales y estructuras de descarga, debido a que la capacidad hidráulica de

estas obras depende del caudal generado por tormentas asociadas a un período de retorno previamente seleccionado. El *Urban Drainage Design Manual* (HEC-22) establece que el diseño de sistemas de drenaje requiere caracterizar adecuadamente la lluvia de diseño y utilizar intensidades o tormentas representativas, incluyendo hietogramas, para evaluar tanto los caudales como el comportamiento hidráulico del sistema. En el contexto peruano, la Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial señala explícitamente que el caudal de diseño debe considerar información obtenida a partir de curvas IDF generadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, lo cual refuerza su papel como fuente oficial para proyectos de drenaje (Diario Oficial El Peruano, 2021; Kilgore et al., 2022).

En carreteras y caminos rurales, incluidas las vías de acceso agrícola, las curvas IDF sustentan el diseño de obras de drenaje transversal y longitudinal, tales como cunetas, alcantarillas, badenes y disipadores de energía. Esto se debe a que el dimensionamiento de estas estructuras depende de la estimación del caudal pico asociado a tormentas de diseño. La *Federal Highway Administration* (FHWA), a través de guías como HDS-5 y HEC-22, diferencia el diseño de drenaje pluvial del drenaje transversal; sin embargo, en ambos casos, el insumo hidrológico esencial es la adecuada caracterización de la lluvia extrema correspondiente al período de retorno adoptado. De manera similar, el *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje* del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú reconoce el uso de curvas IDF, o de sus respectivos ajustes, como parte de la información básica necesaria para estudios hidrológicos e hidráulicos vinculados a infraestructura vial (Kilgore et al., 2022; Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

En las obras hidráulicas agrícolas, las curvas IDF se utilizan para el diseño de sistemas de drenaje parcelario y de drenaje de áreas cultivadas, con el fin de evitar anegamientos y pérdidas en la producción. Asimismo, son de utilidad en el dimensionamiento de canales de evacuación y conducción cuando se requiere estimar aportes por tormenta y caudales máximos. En este tipo de obras resulta común integrar la lluvia de diseño con modelos hidrológicos basados en eventos, en los cuales la tormenta se define a partir de una profundidad asociada a un período de retorno y de una determinada distribución temporal, representada mediante un hietograma. Ello permite estimar el hidrograma de escorrentía y, a partir de este, el caudal pico que condiciona las dimensiones y la capacidad hidráulica de la obra. Esta lógica se encuentra documentada en el TR-55 del *Natural Resources Conservation Service* (NRCS), donde se emplean tormentas de diseño y distribuciones temporales para calcular escorrentía y caudales pico en cuencas pequeñas, en concordancia con los

enfoques clásicos de la hidrología aplicada (United States Department of Agriculture, 1986; Lakhia, 2023).

En reservorios agrícolas, presas pequeñas y obras de protección hidráulica, las curvas IDF se utilizan principalmente como base para definir lluvias de diseño que alimentan modelos lluvia–escorrentía, permitiendo estimar hidrogramas de entrada para verificar la capacidad de aliviaderos, descargas de fondo y niveles máximos de operación. Desde la perspectiva de la seguridad hidráulica, este procedimiento resulta esencial, ya que permite evaluar si la estructura puede conducir caudales extremos sin presentar fallas por sobre-elevación o sobrepaso. En este sentido, los manuales de ingeniería de presas y las guías de seguridad coinciden en que el dimensionamiento hidráulico debe sustentarse en la estimación del evento de diseño, ya sea en términos de tormenta o de crecida de diseño, con el propósito de garantizar un funcionamiento seguro de la obra (Lakhia, 2023).

Finalmente, en conservación de suelos y control de la erosión hídrica, la utilidad de la información derivada de intensidades de corta duración radica en que la erosividad de la lluvia depende en gran medida de la intensidad máxima registrada en intervalos breves, particularmente de la intensidad máxima en 30 minutos, utilizada en la formulación del factor de erosividad de la Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo. Diversos estudios metodológicos sobre erosividad resaltan que su estimación requiere información temporal suficientemente detallada para representar los picos de intensidad, ya sea mediante hietogramas o registros subhorarios. Por ello, el análisis de eventos extremos de corta duración y las relaciones IDF aportan un soporte técnico relevante para identificar niveles de riesgo y diseñar prácticas de conservación, tales como terrazas, zanjas de infiltración y coberturas vegetales (Shamshad et al., 2008; Yin et al., 2017).

2.2.5. Programación computacional en hidrológica

2.2.5.1. Visual Basic: características y ventajas de la programación en el análisis hidrológico

Visual Basic .NET, integrado en Visual Studio, es un lenguaje de programación de alto nivel que destaca por su sintaxis sencilla, su facilidad de aprendizaje y su capacidad para desarrollar aplicaciones de escritorio con interfaces gráficas amigables. Una de sus principales ventajas es que permite crear programas de forma rápida, incorporando cálculos complejos en herramientas accesibles para el usuario (Troelsen & Japikse, 2017).

Además, su compatibilidad con bibliotecas del entorno .NET facilita la incorporación de funciones matemáticas, rutinas estadísticas y conexiones con bases de datos. Esto resulta especialmente útil en

hidrología, donde es necesario procesar registros históricos de precipitación, ajustar distribuciones de probabilidad y generar productos como curvas IDF e hietogramas de diseño. En ese sentido, también permite vincular módulos de cálculo con interfaces gráficas y reportes personalizados, así como manejar datos de forma confiable (Albahari & Albahari, 2021; MacDonald & Szpuszta, 2015). Asimismo, su facilidad de uso permite que estudiantes e ingenieros de áreas aplicadas desarrollen herramientas computacionales sin requerir una formación especializada en informática. Por ello, sigue siendo una alternativa útil para transformar procedimientos técnicos en soluciones digitales (Beer, 2016).

2.2.5.2. Aplicaciones de Visual Basic en programas de ingeniería

Visual Basic ha sido utilizado en distintas ramas de la ingeniería para desarrollar aplicaciones orientadas al cálculo, análisis de datos, simulación y automatización de procesos. Su capacidad para integrar modelos matemáticos, bases de datos, gráficos y reportes en un mismo entorno lo convierte en una herramienta versátil para resolver problemas técnicos específicos (MacDonald & Szpuszta, 2015).

En ingeniería hidráulica e hidrológica, puede emplearse en programas destinados al cálculo de curvas IDF, hietogramas de diseño y modelos de escorrentía. La posibilidad de incorporar ecuaciones hidrológicas en interfaces gráficas facilita convertir modelos matemáticos en herramientas prácticas para el análisis y diseño de obras hidráulicas (Troelsen & Japikse, 2017). De forma complementaria, su aplicación también se extiende a la automatización de procesos, al monitoreo de variables y al desarrollo de prototipos académicos y profesionales. En este sentido, la integración con librerías y tecnologías del entorno .NET amplía sus posibilidades de uso y fortalece su utilidad en la solución de problemas reales de ingeniería (Albahari & Albahari, 2021).

2.2.6. Contexto regional Ayacucho

2.2.6.1. Régimen de lluvia y disponibilidad de datos

Ayacucho presenta un régimen pluviométrico marcadamente estacional, condicionado por la dinámica climática andina y la topografía, con una temporada lluviosa concentrada principalmente entre la primavera y el verano austral, y un periodo seco prolongado el resto del año. Esta estacionalidad, junto con la fuerte variabilidad espacial asociada a gradientes altitudinales y orientación de laderas, implica que la precipitación puede cambiar significativamente en distancias cortas, por lo que la representatividad de una estación para una subcuenca completa puede ser

limitada. En este contexto, la construcción de curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) y la generación de hietogramas requieren priorizar registros con control de calidad, series suficientemente largas y, cuando sea necesario, complementar la información instrumental con productos de observación remota y técnicas de interpolación, manteniendo la trazabilidad y la validación local como criterio central en la selección de datos (World Meteorological Organization, 2006; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023).

2.2.6.2. Alcance de validez y transferibilidad de IDF y patrones

La validez de una curva IDF y de un patrón de hietograma está acotada al periodo de registro, a las condiciones climáticas bajo las cuales se estimó y a la escala espacial representada por los datos. En regiones orográficas como Ayacucho, la transferencia directa de IDF entre estaciones o subcuencas puede introducir sesgos si existen diferencias de altitud, exposición o microclima, por lo que la extrapolación debe sustentarse en procedimientos de regionalización o en ajustes por covariables físicas y climáticas, además de análisis de sensibilidad e incertidumbre. Asimismo, la literatura advierte que la posible no estacionariedad (tendencias o cambios en extremos) puede afectar los cuantiles de diseño y, por tanto, el rango de aplicación de IDF históricas, recomendándose verificar supuestos (homogeneidad, independencia y tendencias) y documentar explícitamente los límites de uso cuando se empleen para diseño o para alimentar herramientas computacionales. En consecuencia, para el desarrollo del programa en Visual Basic, es pertinente incorporar criterios de trazabilidad de datos, advertencias sobre resolución/longitud de serie y opciones para comparar métodos o escenarios, de modo que las salidas sean interpretables y transferibles solo dentro de supuestos claramente establecidos (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023; Helsel et al., 2020).

2.3. Marco normativo

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2020) ha desarrollado una plataforma tecnológica que constituye una herramienta fundamental de apoyo en la toma de decisiones en el ámbito hidrológico. Esta aplicación permite generar representaciones gráficas y numéricas de las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) en cualquier punto del territorio nacional, facilitando la planificación de infraestructuras hidráulicas y de drenaje.

Una de las principales fortalezas de dicha plataforma es su capacidad de integrar escenarios de cambio climático en el análisis hidrológico, lo que proporciona mayor precisión en la proyección de eventos extremos de precipitación. Asimismo, la interfaz ofrece intensidades de lluvia para períodos

de retorno que abarcan desde 2 hasta 1000 años y para duraciones de 1 a 24 horas. Esta flexibilidad convierte a la plataforma en un recurso indispensable para ingenieros, planificadores y gestores ambientales que requieren información confiable para diseñar sistemas de drenaje urbano, presas y otras obras hidráulicas.

En este contexto, el desarrollo de un programa computacional mediante Visual Basic 10.9 en Ayacucho cobra relevancia, pues complementa y adapta estas herramientas a las necesidades locales, permitiendo obtener curvas IDF personalizadas y elaborar hietogramas de diseño. La generación de estos insumos facilita la modelación hidrológica, la estimación de caudales máximos y la planificación de obras de prevención frente a inundaciones, contribuyendo así a la reducción del riesgo de desastres en zonas vulnerables.

La normativa vigente en el Perú otorga soporte legal a estos procesos. La Ley de Recursos Hídricos (Ley N.º 29338) constituye el marco jurídico que regula la gestión integral del agua en todas sus formas: superficiales, subterráneas y continentales, junto con los bienes asociados. Esta ley reconoce el valor ambiental, social, cultural y económico del agua, promoviendo su conservación, uso sostenible y distribución equitativa. De esta manera, fortalece la necesidad de contar con información técnica confiable, como la que ofrecen las curvas IDF, para una gestión responsable de los recursos hídricos (MINAM, 2017).

Asimismo, el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, aprobado por el Decreto Supremo N.º 001-2010-AG, establece disposiciones específicas para la administración eficiente y sostenible del agua. Este reglamento detalla los procedimientos para el otorgamiento de derechos de uso, define responsabilidades institucionales y fomenta la participación ciudadana en la gestión de los recursos hídricos. Su importancia radica en que brinda el sustento normativo para que las herramientas tecnológicas, como las plataformas del Senamhi y los programas computacionales locales, sean aplicadas con criterios técnicos y legales claros.

En conclusión, tanto las plataformas oficiales del Senamhi como el programa computacional desarrollado en Visual Basic se enmarcan en un sistema legal y técnico orientado a la gestión integrada del agua en el Perú. La convergencia entre innovación tecnológica y normativa vigente asegura no solo la disponibilidad de información confiable, sino también su correcta aplicación en la toma de decisiones, garantizando un manejo sostenible de los recursos hídricos frente a los retos del cambio climático y el crecimiento urbano.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El estudio se clasifica como una investigación aplicada, debido a que emplea conocimientos de hidrología estadística y programación para desarrollar una herramienta computacional destinada a la obtención de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) y hietogramas de diseño. Su propósito no es solo desarrollar conocimiento teórico, sino también transformarlo en una aplicación práctica que apoye el análisis hidrológico y el diseño de obras hidráulicas. En ese sentido, mediante el diseño, implementación y validación de un programa desarrollado en Visual Basic .NET, la investigación propone una solución operativa y útil para la ingeniería hidrológica. Por ello, se considera aplicada, ya que busca resolver una necesidad concreta a partir del uso de fundamentos técnicos previamente establecidos.

3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio corresponde a un nivel descriptivo, debido a que caracteriza y analiza las series de precipitación máxima en 24 horas, así como las relaciones hidrológicas necesarias para la obtención de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) y hietogramas de diseño. Este nivel permite identificar, organizar y representar de manera sistemática el comportamiento de las variables involucradas en el estudio, a partir del tratamiento estadístico y matemático de la información pluviométrica. Asimismo, la investigación presenta un alcance propositivo de desarrollo tecnológico, ya que, sobre la base del análisis descrito, se diseña, implementa y valida un programa computacional en Visual Basic .NET orientado a automatizar los procedimientos de cálculo y representación gráfica requeridos en el análisis hidrológico. En tal sentido, el estudio no busca explicar relaciones causales entre fenómenos naturales, sino describir técnicamente el comportamiento de la información hidrológica y materializar dicho conocimiento en una herramienta digital funcional.

3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El estudio presenta un diseño no experimental y de desarrollo tecnológico con validación comparativa. Es no experimental porque utiliza información pluviométrica histórica ya existente, sin manipular las variables de estudio. A su vez, es de desarrollo tecnológico porque, a partir del análisis hidrológico y estadístico, se diseña e implementar un programa computacional en Visual Basic .NET

para la obtención de curvas IDF e hietogramas de diseño. Asimismo, incorpora una validación comparativa, en la que los resultados del programa se confrontan con cálculos realizados en Microsoft Excel y con el software HIDROESTA. Esta comparación permite verificar la consistencia y confiabilidad de la herramienta desarrollada, así como su utilidad para el análisis hidrológico.

3.4. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

La población de estudio está constituida por todas las estaciones pluviométricas y meteorológicas operadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) dentro del ámbito geográfico de la región de Ayacucho.

La muestra corresponde a las estaciones meteorológicas seleccionadas en la región de Ayacucho que cuentan con un registro histórico continuo y confiable de precipitaciones máximas en 24 horas, con una longitud de serie de datos de al menos 20 años, requisito fundamental para un análisis de frecuencias adecuado.

Se aplicó un muestreo no probabilístico por conveniencia o intencional, seleccionando aquellas estaciones que cumplieran con los criterios de calidad de datos, mínima cantidad de datos faltantes y relevancia espacial para el diseño de obras en la región.

3.5. VARIABLES E INDICADORES

3.5.1. Variable Independiente

- Desarrollo del programa computacional en Visual Basic 10.9.

Indicadores: Arquitectura del software, módulos implementados (análisis de datos, estadístico, métodos IDF), interfaz de usuario, lenguaje de programación utilizado.

3.5.2. Variable dependiente

- Obtención de curvas IDF y hietogramas de diseño.

Indicadores: Tiempo de procesamiento de datos, precisión de los resultados (comparación con Excel/software de referencia), parámetros de las ecuaciones IDF, intensidades calculadas (mm/h), valores de precipitación desagregada.

3.5.3. Variables intervinientes

- Calidad y longitud de la serie de datos pluviométricos (precipitación máxima en 24 horas).
- Distribuciones de probabilidad aplicadas (Normal, Gumbel, Log Pearson III, etc.).
- Métodos empíricos de desagregación (Dick Peschke, Coeficientes, Bell, IILA-SENAMHI-UNI).

3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

A continuación, se presenta la operacionalización de variables.

Tabla 4

Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Unidad de medida	Indicador
1. Variable independiente			
X: Programa computacional desarrollado en Visual Basic	Lenguaje de programación	Adimensional	X1: Lenguaje y códigos desarrollados en Visual Basic.
	Interfaz gráfica del programa	Adimensional	X2: Formularios, botones, menús, tablas y gráficos implementados.
	Algoritmos computacionales	Adimensional	X3: Rutinas de cálculo para procesar datos hidrológicos, curvas IDF e hietogramas.
2. Variables dependientes			
Obtención de curvas IDF y hietogramas de diseño	Análisis estadístico de datos hidrológicos	mm / adimensional / años	Y1: Procesamiento de datos de precipitación máxima en 24 horas, pruebas estadísticas, ajuste de distribuciones de probabilidad y periodos de retorno.
	Generación de curvas IDF	min, h / mm/h / adimensional	Y2: Cálculo de intensidades de precipitación, duraciones de lluvia, ecuaciones IDF y gráficos de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.
	Elaboración de hietogramas de diseño	mm / adimensional	Y3: Distribución temporal de la precipitación de diseño, generación del hietograma, verificación del

3.7.METODOLOGÍA

La metodología de la investigación se estructuró en función de los objetivos específicos e integró el análisis hidrológico, el tratamiento estadístico de series de precipitación máxima en 24 horas y el desarrollo de un programa computacional para obtener curvas IDF e hietogramas de diseño. Para ello, se combinaron fundamentos de hidrología aplicada con criterios de programación y validación computacional, utilizando Visual Studio y Visual Basic .NET.

En términos generales, el procedimiento incluyó la recopilación y preparación de la información pluviométrica, la evaluación de su calidad y consistencia, el análisis de frecuencia mediante distribuciones de probabilidad, la estimación de precipitaciones de diseño y la generación de intensidades, curvas IDF e hietogramas. De manera paralela, estos procesos fueron incorporados en una herramienta computacional de estructura modular para asegurar la trazabilidad y reproducibilidad de los resultados.

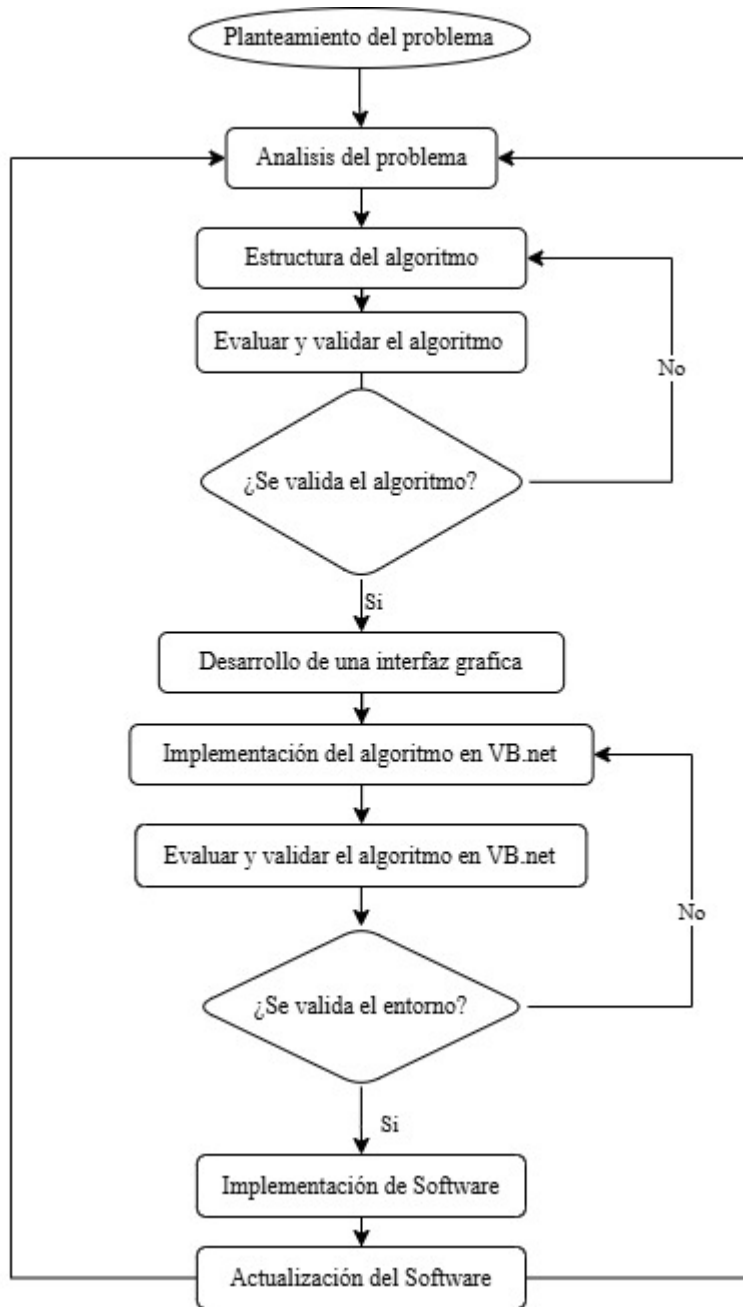
En este contexto, la metodología implementada en el programa desarrollado presenta diferencias importantes respecto a la metodología oficial SENAMHI 2023 para la generación de curvas IDF en el Perú. El programa propuesto trabaja principalmente con un enfoque local y computacional, utilizando series de precipitación máxima en 24 horas de una estación pluviométrica específica. A partir de esta información, se aplican análisis estadísticos, ajustes de distribuciones de probabilidad y métodos empíricos de desagregación temporal para obtener intensidades de lluvia, curvas IDF e hietogramas de diseño.

Por otro lado, la metodología SENAMHI 2023 plantea un enfoque regional de alcance nacional, basado en regiones homogéneas, análisis regional de frecuencia, L-momentos, curvas sintéticas de Huff e intervalos de confianza. Por ello, ambos enfoques responden a criterios metodológicos distintos y no deben considerarse equivalentes.

En ese sentido, la comparación entre ambas metodologías permite delimitar con mayor claridad el alcance del programa desarrollado. Este se orienta principalmente a fines académicos, al análisis hidrológico local, a la comparación de métodos y a la comprensión del proceso de cálculo, sin pretender reemplazar la plataforma oficial IDF-Perú.

Figura 3

Diagrama de flujo de diseño del programa computacional



Además, la metodología contempló la verificación funcional del programa y la comparación de sus resultados con herramientas de referencia, como Excel e HIDROESTA, con el propósito de comprobar su consistencia y confiabilidad. En los siguientes apartados se detallan las técnicas, instrumentos y fases que guiaron el desarrollo y la validación del programa.

3.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas e instrumentos de investigación se establecieron de acuerdo con los objetivos específicos del estudio, con el propósito de garantizar la recopilación, organización, procesamiento y validación de la información requerida para el desarrollo del programa computacional. Las técnicas comprenden los procedimientos utilizados en el análisis documental, estadístico, computacional y de validación, mientras que los instrumentos corresponden a los recursos empleados para registrar, procesar, comparar y presentar los resultados. Esta relación se resume en la Tabla 4.

Tabla 5

Técnicas e instrumentos de la investigación

Objetivo específico	Técnica	Instrumentos
Definir el modelo matemático del programa computacional para la obtención de curvas IDF e hietogramas de diseño.	Análisis documental y análisis matemático-estadístico	Registros de precipitación máxima en 24 horas del SENAMHI, bibliografía especializada, Microsoft Excel como herramienta de apoyo al cálculo
Verificar el correcto funcionamiento del programa computacional para la generación de curvas IDF e hietogramas de diseño.	Pruebas funcionales, pruebas de validación comparativa y análisis de resultados	Programa desarrollado en Visual Basic .NET, Microsoft Excel, software HIDROESTA y matriz de registro de diferencias entre resultados
Elaborar un manual de usuario del programa computacional para facilitar su comprensión y uso.	Redacción técnica y revisión de usabilidad	Manual de usuario elaborado en Microsoft Word y guía de revisión de funcionamiento del sistema

3.8.1. Materiales

Los materiales se entienden como los medios físicos y no físicos que hacen posible la ejecución de los procedimientos de una investigación. Hernández et al. (2018) los definen como los elementos, instrumentos y recursos que el investigador organiza y emplea para garantizar la validez de los datos y el adecuado desarrollo del estudio. En esta tesis, los materiales estuvieron dirigidos a la recopilación de información pluviométrica y a la creación del programa computacional en Visual Basic.Net, utilizando tanto equipos informáticos como fuentes bibliográficas especializadas.

A. Datos:

- Para la validación y demostración del programa computacional se empleó como caso de estudio la estación meteorológica de Huanta (SENAMHI), utilizando la serie histórica de precipitación máxima de 24 horas (P_{máx} 24 h) correspondiente al periodo (1992 – 2018), se realizó esta selección por la disponibilidad y continuidad de registros, representatividad local y pertinencia para el objetivo de generación de curvas IDF y hietogramas de diseño en el ámbito de estudio.

Tabla 6

Precipitación máxima de 24h (P_{máx}).

Nº	Año	P24 (mm)
1	1992	26,50
2	1993	31,70
3	1994	31,70
4	1995	51,60
5	1996	29,50
6	1997	38,70
7	1998	39,70
8	1999	42,60
9	2000	35,30
10	2001	26,00
11	2002	22,70
12	2003	32,50
13	2004	25,20
14	2005	55,10
15	2006	28,10
16	2007	25,00
17	2008	20,60
18	2009	30,10
19	2010	22,00
20	2011	22,60
21	2012	21,60
22	2013	34,10
23	2014	23,40
24	2015	36,10
25	2016	24,10
26	2017	27,70

Nº	Año	P24 (mm)
27	2018	31,20

A. Hardware:

- Computadora portátil con sistema operativo Windows 10 Core i5, utilizada para el desarrollo y ejecución del programa computacional.

B. Software:

- Visual Studio 2022 con lenguaje de programación Visual Basic.Net.
- Microsoft Excel 2022 para cálculos de referencia.
- Software HIDROESTA para la comparación y validación de resultados obtenidos por el programa desarrollado.

C. Referencias:

- Bibliografía en Hidrología, Hidrología estadística y programación.
- Manual de hidrología e hidráulica y diseño de estructuras hidráulicas, utilizados como soporte para la selección del modelo e interpretación de los resultados.

3.9. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS

El procesamiento metodológico de la presente investigación se organizó en tres fases secuenciales y complementarias, orientadas al análisis hidrológico-estadístico de la información pluviométrica, a la implementación computacional de los procedimientos de cálculo y a la validación comparativa de los resultados obtenidos. Esta estructura permitió mantener una secuencia lógica entre el tratamiento técnico de los datos, el desarrollo del programa computacional y la verificación de la confiabilidad de sus resultados. Las fases que integran este procedimiento se describen a continuación.

3.9.1. Fase I: Análisis hidrológico-estadístico de la información pluviométrica

3.9.1.1. Recopilación, organización y preparación de la información pluviométrica

La recopilación y preparación de la información pluviométrica constituyó la etapa inicial del análisis hidrológico-estadístico. Para la validación y demostración del programa computacional se utilizó la

serie histórica de precipitación máxima en 24 horas de la estación meteorológica Huanta (SENAMHI), seleccionada por la disponibilidad y continuidad de sus registros. La información se representó como:

$$D = \{(A_i, P_{24,i})\}_{i=1}^n$$

Donde A_i corresponde al año de observación, $P_{24,i}$ a la precipitación máxima en 24 horas y n al número total de registros. A partir de esta base se definió la serie hidrológica de trabajo:

$$X = \{x_i\}_{i=1}^n, x_i = P_{24,i}, x_i > 0$$

La serie fue organizada en formato tabular y revisada para verificar la correspondencia entre variables, unidades y valores registrados, así como para detectar inconsistencias básicas de formato. Para los modelos que requieren transformación logarítmica, se consideró:

$$Y = \{y_i\}_{i=1}^n, y_i = \ln(x_i)$$

Asimismo, la serie fue ordenada de manera ascendente para su aplicación en el análisis de frecuencia:

$$x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$$

De este modo, la información pluviométrica quedó preparada como insumo inicial para el desarrollo del análisis hidrológico-estadístico.

3.9.1.2. Análisis de datos dudosos

El análisis de datos dudosos tuvo como finalidad identificar posibles valores atípicos dentro de la serie de precipitación máxima en 24 horas, a fin de verificar su consistencia antes de aplicar las pruebas estadísticas y el análisis de frecuencia. Para ello se utilizó el criterio recomendado por el United States Bureau of Reclamación (USBR), basado en la comparación de cada dato con límites estadísticos definidos a partir de la media, la desviación estándar y un coeficiente K dependiente del tamaño de la muestra.

A partir de la serie $X = \{x_i\}_{i=1}^n$, se calculó la media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (14)$$

y la desviación estándar muestral:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (15)$$

Con estos parámetros se determinaron los límites de control:

$$Ls = \bar{x} + Ks$$

$$Li = \bar{x} - Ks$$

Donde Ls es el límite superior, Li el límite inferior y K el coeficiente tabulado según el tamaño de la muestra. Un dato fue considerado potencialmente dudoso cuando cumplió:

$$x_i > Ls \text{ o } x_i < Li$$

Los valores identificados con este criterio no fueron eliminados de manera automática, sino revisados para determinar si correspondían a errores de registro o a eventos extremos plausibles. De este modo, la serie quedó evaluada y preparada para su análisis estadístico posterior.

3.9.1.3. Análisis estadístico y pruebas de consistencia de la serie

Luego de identificar los datos potencialmente dudosos, la serie de precipitación máxima en 24 horas fue sometida a un análisis estadístico para evaluar su aptitud en el análisis de frecuencia hidrológica. En esta etapa se calcularon los principales estadísticos descriptivos, como la media aritmética, la desviación estándar, el coeficiente de variación y el coeficiente de asimetría, con el fin de caracterizar el comportamiento general de la serie. La media aritmética y la desviación estándar muestral se determinaron mediante:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (16)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (17)$$

Asimismo, el coeficiente de variación y el coeficiente de asimetría se calcularon mediante:

$$C_v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (18)$$

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3} \quad (19)$$

Donde $\bar{x}$ es la media aritmética, s la desviación estándar muestral, C_v el coeficiente de variación, C_s el coeficiente de asimetría y n el número de observaciones. Posteriormente, se aplicaron pruebas de aleatoriedad, independencia, homogeneidad y estacionariedad, con el propósito de verificar la consistencia estadística de la serie. De manera complementaria, la presencia de tendencia fue evaluada mediante la prueba de Mann–Kendall y el ajuste de una regresión lineal simple, expresada como:

$$y = a + bx \quad (20)$$

La significancia de la tendencia se verificó mediante la prueba t de Student:

$$t = \frac{b}{s_b} \quad (21)$$

Donde b es la pendiente de la recta de regresión y s_b su error estándar.

La serie fue considerada apta para el análisis de frecuencia cuando las pruebas aplicadas no evidenciaron inconsistencias estadísticas significativas. De este modo, quedó en condiciones de ser utilizada en el ajuste de distribuciones de probabilidad y en la estimación de precipitaciones de diseño.

3.9.1.4. Análisis de frecuencia y ajuste de distribuciones de probabilidad

Luego de comprobar la consistencia estadística de la serie de precipitación máxima en 24 horas, se realizó el análisis de frecuencia hidrológica con el fin de estimar precipitaciones máximas asociadas a distintos períodos de retorno. Para ello, los datos fueron ordenados y se calcularon las posiciones de probabilidad mediante la fórmula de Weibull:

$$P = \frac{m}{n+1} \quad (22)$$

Donde P es la probabilidad de excedencia, m el orden del dato dentro de la serie y n el número total de observaciones. A partir de esta relación, el período de retorno se obtuvo mediante:

$$T = \frac{1}{P} \quad (23)$$

Donde T representa el período de retorno.

Posteriormente, se evaluó el ajuste de distribuciones de probabilidad de uso frecuente en hidrología, entre ellas Normal, Log-Normal de dos y tres parámetros, Gumbel, Log-Pearson tipo III y Gamma. Sus parámetros fueron estimados mediante el método de los momentos ordinarios, por su aplicabilidad en series hidrológicas y su facilidad de implementación computacional. La calidad del ajuste se verificó con las pruebas de Kolmogorov–Smirnov, Chi-cuadrado y Anderson–Darling. Con base en estos resultados, se seleccionó la distribución que mejor representó la serie analizada. A partir de ella, se estimaron las precipitaciones máximas en 24 horas para los períodos de retorno considerados, las cuales sirvieron de base para la generación de intensidades, curvas IDF e hietogramas de diseño.

3.9.1.5. Estimación hidrológica para la obtención de intensidades, curvas IDF e hietogramas

A partir de las precipitaciones máximas en 24 horas estimadas para los períodos de retorno seleccionados, se realizó la transformación hidrológica necesaria para obtener intensidades de lluvia en diferentes duraciones, así como las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) y los hietogramas de diseño. Para ello se aplicaron los métodos de Dick Peschke, Frederick Bell adaptado por Yance Tueros y el método de Coeficientes, los cuales emplean como insumo la precipitación máxima diaria de diseño.

En estos métodos, las precipitaciones estimadas para duraciones menores permitieron calcular las intensidades correspondientes mediante la relación general:

$$I = \frac{P}{t} \quad (24)$$

Donde I es la intensidad de precipitación, P la precipitación estimada para una duración determinada y t el tiempo de duración del evento. A partir de estas intensidades se realizó la parametrización de las curvas IDF y la elaboración de los hietogramas de diseño.

De manera complementaria, se consideró el método IILA–SENAMHI–UNI como una alternativa de estimación hidrológica para los casos en que no se dispone de registros históricos de precipitación máxima en 24 horas. En este caso, las intensidades de lluvia se obtuvieron a partir de parámetros regionales y geográficos del área de estudio, según las expresiones empíricas propias del método, sin requerir como dato de entrada la serie observada de precipitación máxima diaria.

Posteriormente, las intensidades obtenidas con cada método fueron parametrizadas mediante la ecuación de Bernard, adoptada en la presente investigación para representar de forma continua la relación entre la intensidad de precipitación, la duración del evento y el período de retorno:

$$I = \frac{K T^m}{t^n} \quad (25)$$

Donde I es la intensidad de precipitación, T el período de retorno, t la duración de la lluvia, y K , m y n son parámetros de ajuste. Estos parámetros se estimaron para cada método a partir de las intensidades calculadas, lo que permitió obtener las ecuaciones IDF correspondientes y generar posteriormente los hietogramas de diseño.

La estimación hidrológica implementada en el programa desarrollado tiene un enfoque local y computacional, ya que parte de una serie de precipitación máxima en 24 horas de una estación pluviométrica específica. Con esta información, el programa realiza el análisis estadístico, el ajuste de distribuciones de probabilidad y la aplicación de métodos de desagregación temporal, como Dick Peschke, Coeficientes, Frederick Bell adaptado por Yance Tueros y el método IILA-SENAMHI-UNI.

Por ello, las intensidades, curvas IDF e hietogramas generados dependen de los datos ingresados, la distribución seleccionada y el método hidrológico aplicado. Este enfoque se diferencia de la metodología SENAMHI 2023, la cual utiliza un análisis regional de alcance nacional basado en regiones homogéneas, L-momentos, curvas sintéticas de Huff e intervalos de confianza.

En consecuencia, las diferencias entre los resultados del programa y los valores reportados por IDF-Perú deben entenderse como producto de metodologías distintas, y no como inconsistencias del programa desarrollado.

3.9.2. Fase II: Implementación computacional del procedimiento

La segunda fase del procedimiento metodológico correspondió a la implementación computacional de los procedimientos hidrológicos y estadísticos definidos en la etapa anterior, con el propósito de automatizar el procesamiento de la información pluviométrica y la obtención de curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) e hietogramas de diseño. En esta fase, el modelo matemático y la secuencia operativa del análisis fueron trasladados a una herramienta digital desarrollada en Visual Studio mediante el lenguaje Visual Basic .NET.

Para ello, se incorporaron de manera progresiva al programa los procesos de gestión de datos, análisis estadístico, ajuste de distribuciones de probabilidad, estimación de precipitaciones de diseño y generación de intensidades, curvas IDF e hietogramas. La implementación se realizó procurando mantener claridad en el funcionamiento, coherencia entre las entradas y salidas, y estabilidad en la ejecución de los cálculos, de modo que el software reprodujera de forma ordenada el procedimiento metodológico planteado.

Además, se desarrolló una interfaz gráfica orientada a facilitar el ingreso de datos, la selección de parámetros de análisis, la elección de los métodos hidrológicos y la visualización de resultados numéricos y gráficos. De esta manera, la implementación computacional permitió convertir el procedimiento metodológico en una herramienta funcional de apoyo al análisis hidrológico.

3.9.3. Fase III: Validación comparativa y organización de resultados

La tercera fase del procedimiento metodológico estuvo orientada a la validación comparativa y a la organización de los resultados generados por el programa computacional, con el propósito de verificar la coherencia, consistencia y confiabilidad de las salidas obtenidas. Para ello, los resultados del software se contrastaron con cálculos desarrollados en Microsoft Excel y con los obtenidos mediante el software HIDROESTA, ambos utilizados como herramientas de referencia en el análisis hidrológico.

La validación incluyó la comparación de precipitaciones de diseño, intensidades de lluvia, curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) e hietogramas, evaluando el grado de correspondencia entre los valores generados por el programa y los resultados de referencia. Las diferencias identificadas fueron analizadas según su magnitud y su posible relación con redondeos numéricos o con particularidades de la implementación computacional, sin dejar de lado la coherencia hidrológica general de los resultados.

Posteriormente, los resultados se organizaron en tablas y representaciones gráficas de acuerdo con el método hidrológico aplicado, lo que facilitó su interpretación y comparación. De esta manera, esta fase permitió comprobar el funcionamiento del programa computacional y sustentar su utilidad como herramienta de apoyo para el análisis y diseño hidrológico.

3.9.4. Estructura modular y diagramas de flujo del programa computacional

El programa computacional desarrollado fue organizado mediante una estructura modular, con el fin de facilitar la implementación de los procedimientos hidrológicos y estadísticos definidos en la metodología, asegurar la trazabilidad de los cálculos y mantener una integración ordenada de sus componentes. Esta organización permitió dividir el funcionamiento del software en módulos interrelacionados, cada uno con funciones específicas orientadas al tratamiento de la información pluviométrica y a la obtención de curvas IDF e hietogramas de diseño.

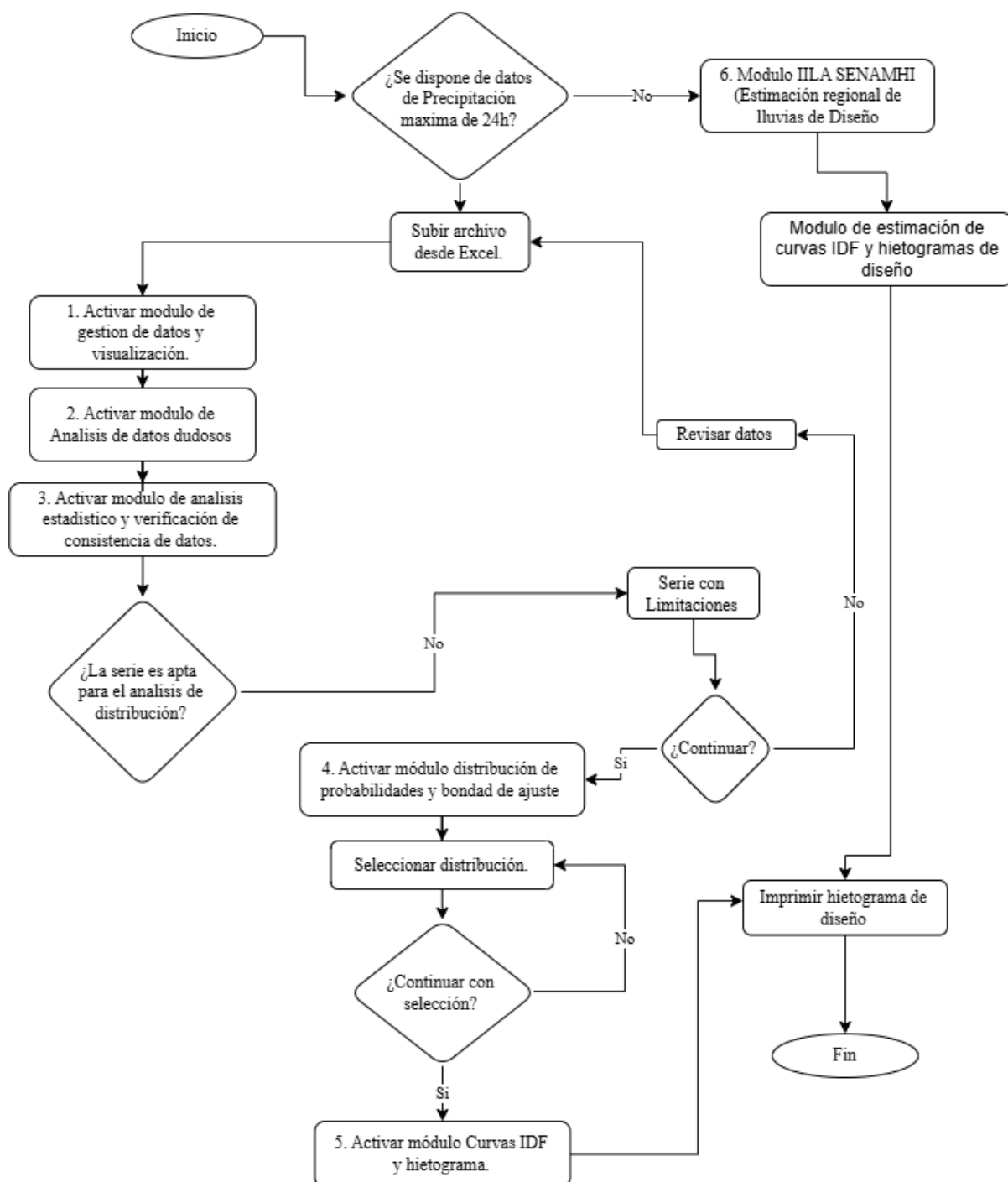
En este apartado se presenta primero el flujo general de funcionamiento del programa y la relación entre sus componentes principales. Luego, se describen los módulos que conforman su estructura interna, señalando de manera general la función de cada uno y los diagramas de flujo correspondientes. La estructura del software quedó conformada por seis módulos funcionales: gestión de datos de precipitación máxima en 24 horas, análisis de datos dudosos, análisis estadístico y pruebas de consistencia, ajuste de distribuciones de probabilidad y pruebas de bondad de ajuste, generación de curvas IDF e hietogramas de diseño, y módulo IILA–SENAMHI como alternativa de estimación hidrológica.

3.9.4.1. Flujo de funcionamiento del software e integración de los módulos

El flujo de funcionamiento del software muestra la secuencia con la que el programa ejecuta los procedimientos hidrológicos y estadísticos definidos en la metodología, desde el ingreso de la información pluviométrica hasta la obtención de las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) y los hietogramas de diseño. Esta secuencia se organizó de manera progresiva, de modo que los resultados obtenidos en cada etapa sirvan como insumo para la siguiente.

Figura 4

Diagrama de flujo: funcionamiento general del Software



En su ruta principal, el programa procesa la serie histórica de precipitación máxima en 24 horas, realiza el análisis de datos dudosos, evalúa la consistencia estadística de la serie, ejecuta el análisis

de frecuencia y, finalmente, genera las precipitaciones de diseño, las intensidades, las curvas IDF y los hietogramas correspondientes. De forma complementaria, el software incorpora una ruta alternativa mediante el método IILA–SENAMHI–UNI, aplicable cuando no se dispone de registros históricos suficientes de precipitación máxima en 24 horas.

La integración de estos módulos en una misma estructura permite reproducir de forma ordenada el procedimiento metodológico planteado en la investigación y mantener coherencia entre los datos de entrada, los procesos de cálculo y los resultados obtenidos. El esquema general de este funcionamiento se presenta en la Figura 4.

3.9.4.2. Módulo de gestión de datos de precipitación máxima de 24 horas

El módulo de gestión de datos de precipitación máxima en 24 horas constituye el punto de entrada del programa computacional, ya que permite incorporar, organizar y revisar la información pluviométrica necesaria para los análisis posteriores. Su función es asegurar que la serie de datos presente una estructura adecuada para su procesamiento dentro de la metodología planteada.

En este módulo, el usuario ingresa la base de datos de precipitación máxima en 24 horas, conformada por el año de registro y el valor de precipitación correspondiente. A partir de ello, el programa verifica la existencia de los campos requeridos, la consistencia básica del formato y la validez de los datos numéricos. Asimismo, permite visualizar la información de forma ordenada, facilitando una revisión preliminar antes de su evaluación en los módulos siguientes. El diagrama de flujo correspondiente se presenta en la Figura 5.

3.9.4.3. Módulo de Análisis de datos dudosos

El módulo de análisis de datos dudosos fue incorporado al programa computacional con la finalidad de identificar valores potencialmente atípicos dentro de la serie de precipitación máxima en 24 horas, antes de su evaluación estadística formal. Su función es apoyar el control inicial de calidad de la información y advertir sobre registros que podrían afectar la consistencia de los resultados posteriores.

Para ello, el programa compara cada valor de la serie con los límites establecidos en la metodología y señala aquellos que se encuentran fuera del rango esperado. De este modo, el módulo cumple una función de apoyo en la revisión y depuración de los datos, contribuyendo a preservar la confiabilidad

de la serie utilizada en las siguientes etapas del análisis. El diagrama de flujo correspondiente se presenta en la Figura 6.

Figura 5

Diagrama de flujo: diseño del módulo de gestión de datos

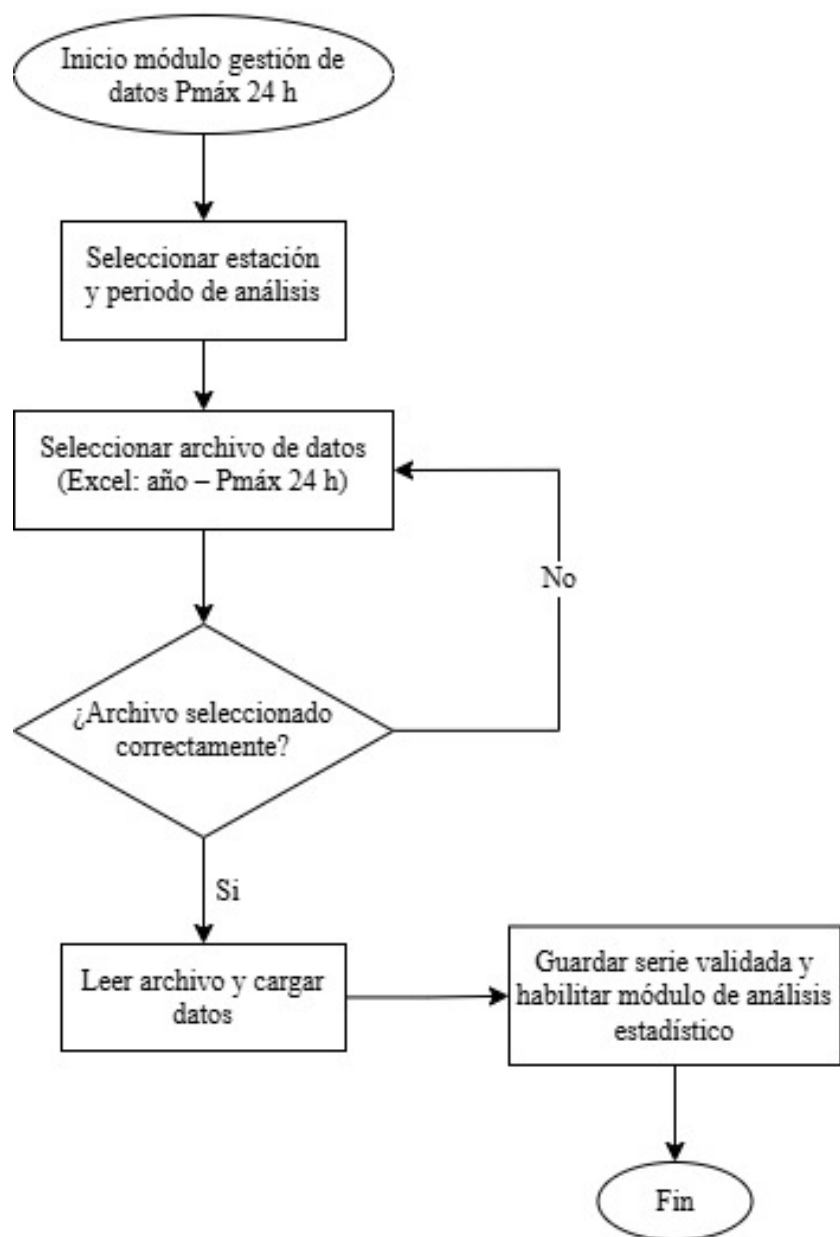
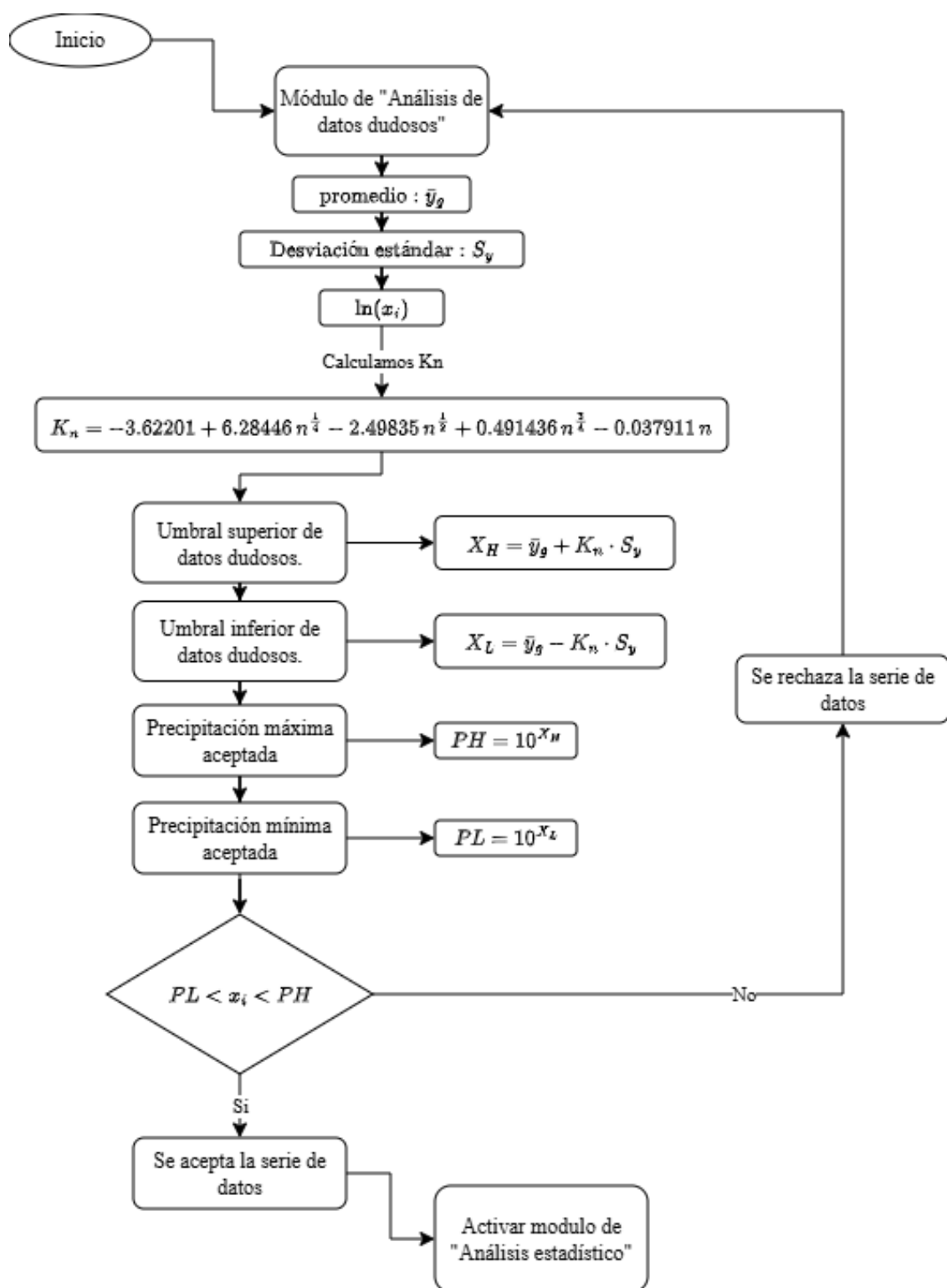


Figura 6

Diagrama de flujo: módulo de análisis de datos dudosos



3.9.4.4. Módulo de Análisis estadístico y pruebas de consistencia de datos

El módulo de análisis estadístico y pruebas de consistencia de datos fue incorporado al programa computacional para evaluar el comportamiento estadístico de la serie de precipitación máxima en 24 horas y verificar su aptitud para el análisis de frecuencia hidrológica. Su función es procesar la información previamente depurada y determinar si la serie presenta condiciones adecuadas de consistencia para su uso en la estimación de precipitaciones de diseño.

En este módulo, el programa calcula los principales estadísticos descriptivos y aplica las pruebas de aleatoriedad, independencia, homogeneidad, estacionariedad y tendencia, además del análisis de Mann–Kendall, la regresión lineal y la prueba t de Student. Los resultados se presentan en tablas y gráficos, facilitando la interpretación de la serie y su posterior utilización en el ajuste de distribuciones de probabilidad. El diagrama de flujo correspondiente se presenta en la Figura 7.

3.9.4.5. Módulo de distribución y pruebas de bondad de ajuste.

El módulo de distribución y pruebas de bondad de ajuste fue incorporado al programa computacional con la finalidad de identificar la distribución de probabilidad que mejor representa el comportamiento de la serie de precipitación máxima en 24 horas. Su función principal es desarrollar el análisis de frecuencia hidrológica a partir de la información previamente evaluada en los módulos de control de calidad y consistencia estadística. En este módulo, el programa calcula las posiciones de probabilidad de la serie, estima los parámetros de las distribuciones consideradas en la investigación y aplica las pruebas de bondad de ajuste de Kolmogorov–Smirnov, Chi-cuadrado y Anderson–Darling. Con base en estos resultados, se compara el desempeño de las distribuciones analizadas y se selecciona aquella que ofrece el ajuste más adecuado para representar la serie estudiada.

A partir de la distribución seleccionada, el módulo estima las precipitaciones máximas de diseño para los períodos de retorno considerados en la investigación, constituyendo así el insumo necesario para la generación de intensidades, curvas IDF e hietogramas de diseño. De esta manera, este módulo cumple una función clave en el modelamiento probabilístico y en la obtención de los resultados hidrológicos de diseño. El diagrama de flujo correspondiente se presenta en la Figura 8.

Figura 7

Diagrama de flujo: módulo de análisis estadístico de dato

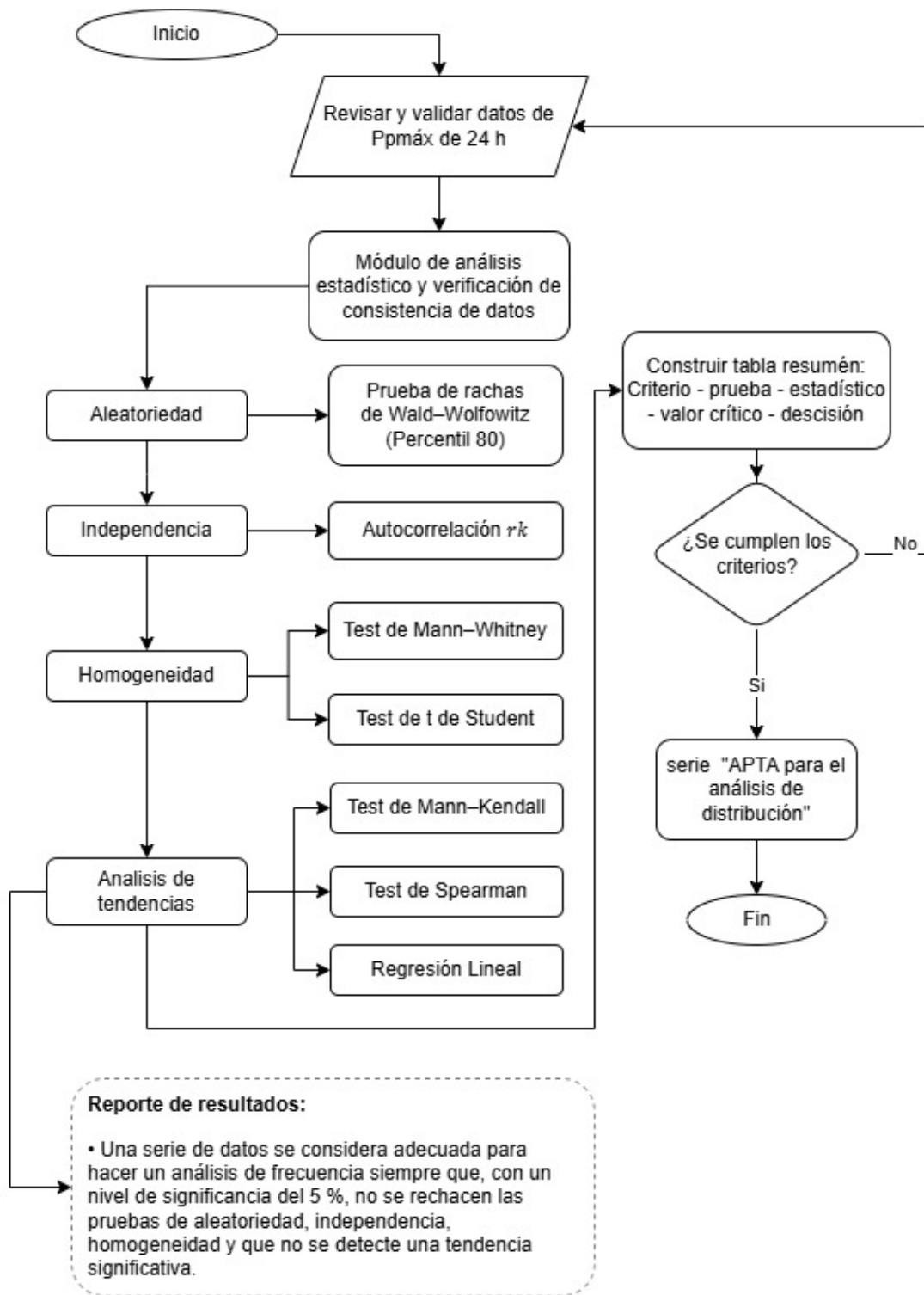
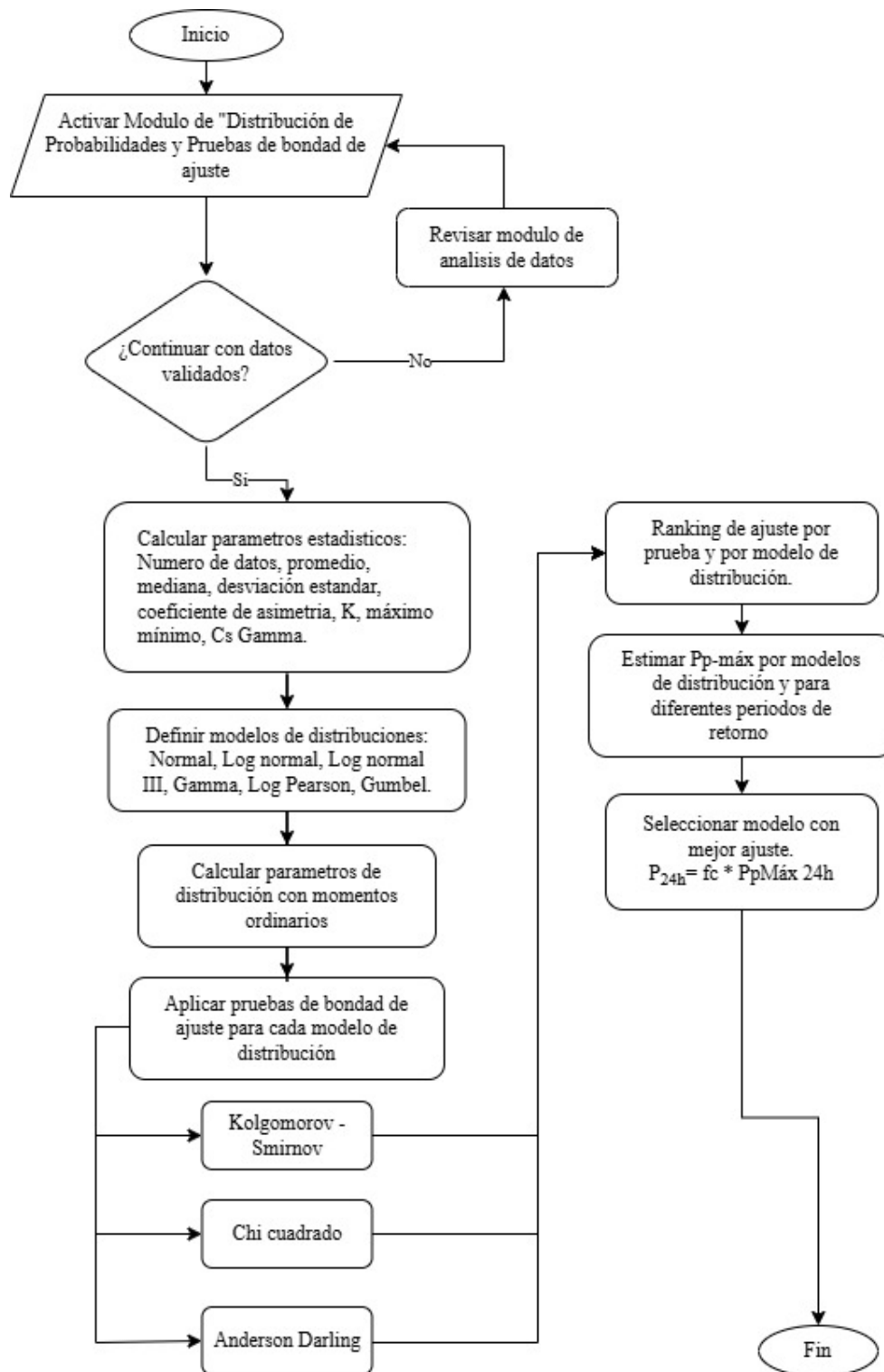


Figura 8

Diagrama de flujo de distribuciones y pruebas de bondad de ajuste



3.9.4.6. Módulo de generación de curvas IDF y hietograma de diseño

El módulo de generación de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) e hietogramas de diseño fue incorporado al programa computacional con el fin de transformar las precipitaciones máximas de diseño en información útil para el diseño de obras hidráulicas. Su función principal es estimar intensidades de lluvia para diferentes duraciones y períodos de retorno, parametrizar las relaciones IDF y representar la distribución temporal de la precipitación mediante hietogramas de diseño.

En este módulo, el programa utiliza como datos de entrada las precipitaciones máximas en 24 horas obtenidas en el análisis de frecuencia, así como las intensidades derivadas de los métodos hidrológicos implementados en la investigación, entre ellos Dick Peschke, Frederick Bell adaptado por Yance Tueros y el método de Coeficientes. A partir de esta información, se calculan las intensidades de lluvia para distintas duraciones, se parametrizan las curvas IDF mediante la expresión adoptada en la investigación y se generan los hietogramas correspondientes para las condiciones de diseño seleccionadas.

De esta manera, este módulo cumple la función de convertir los resultados probabilísticos en productos hidrológicos de diseño, permitiendo representar tanto la relación entre intensidad, duración y frecuencia como la distribución temporal de la lluvia de proyecto. El diagrama de flujo correspondiente se presenta en la Figura 7, mientras que los diagramas específicos de cada método se muestran en las figuras posteriores.

Figura 9

Diagrama de flujo de generación de curvas IDF y hietograma

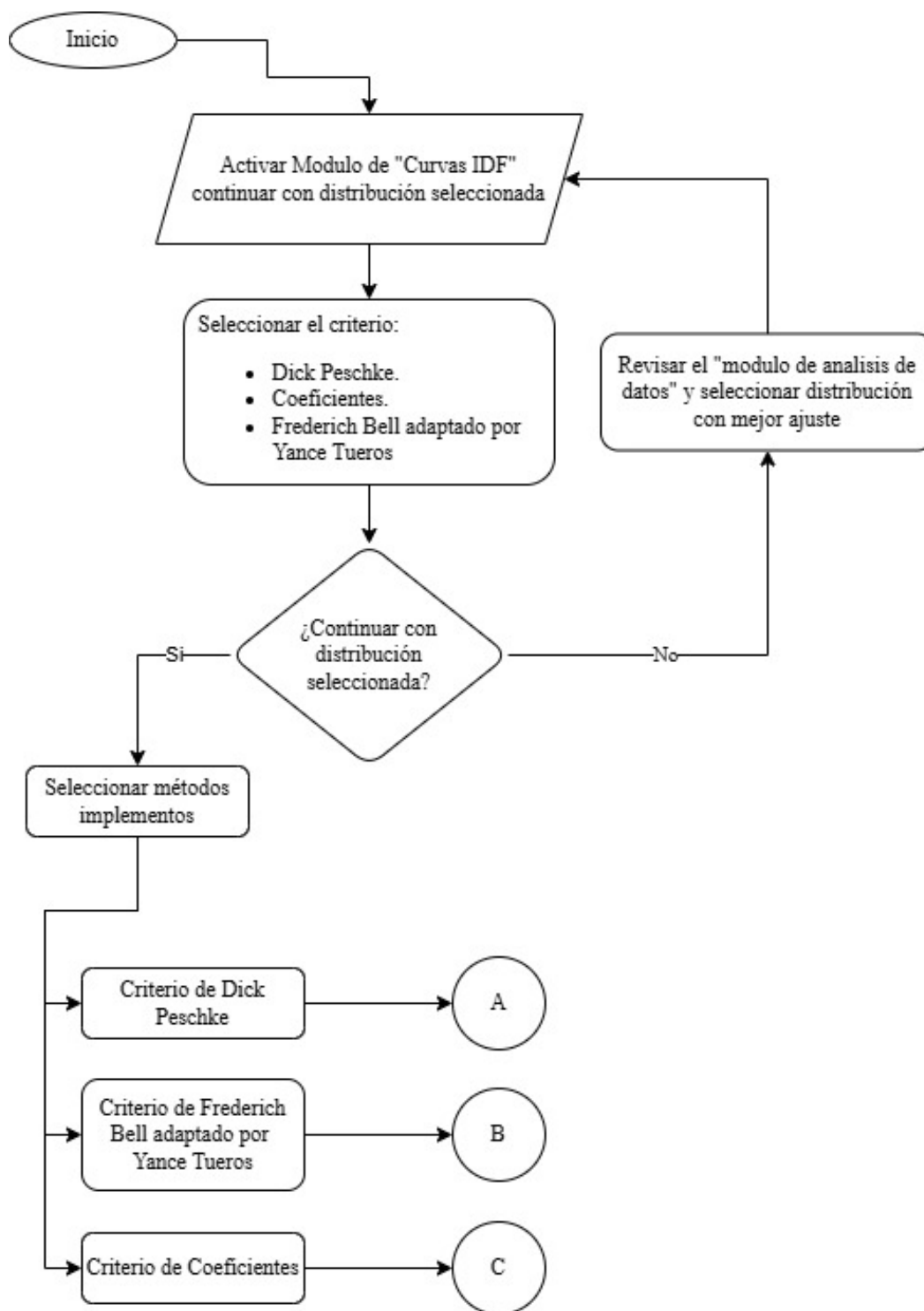


Figura 10

Diagrama de flujo del método de Dick Peschke

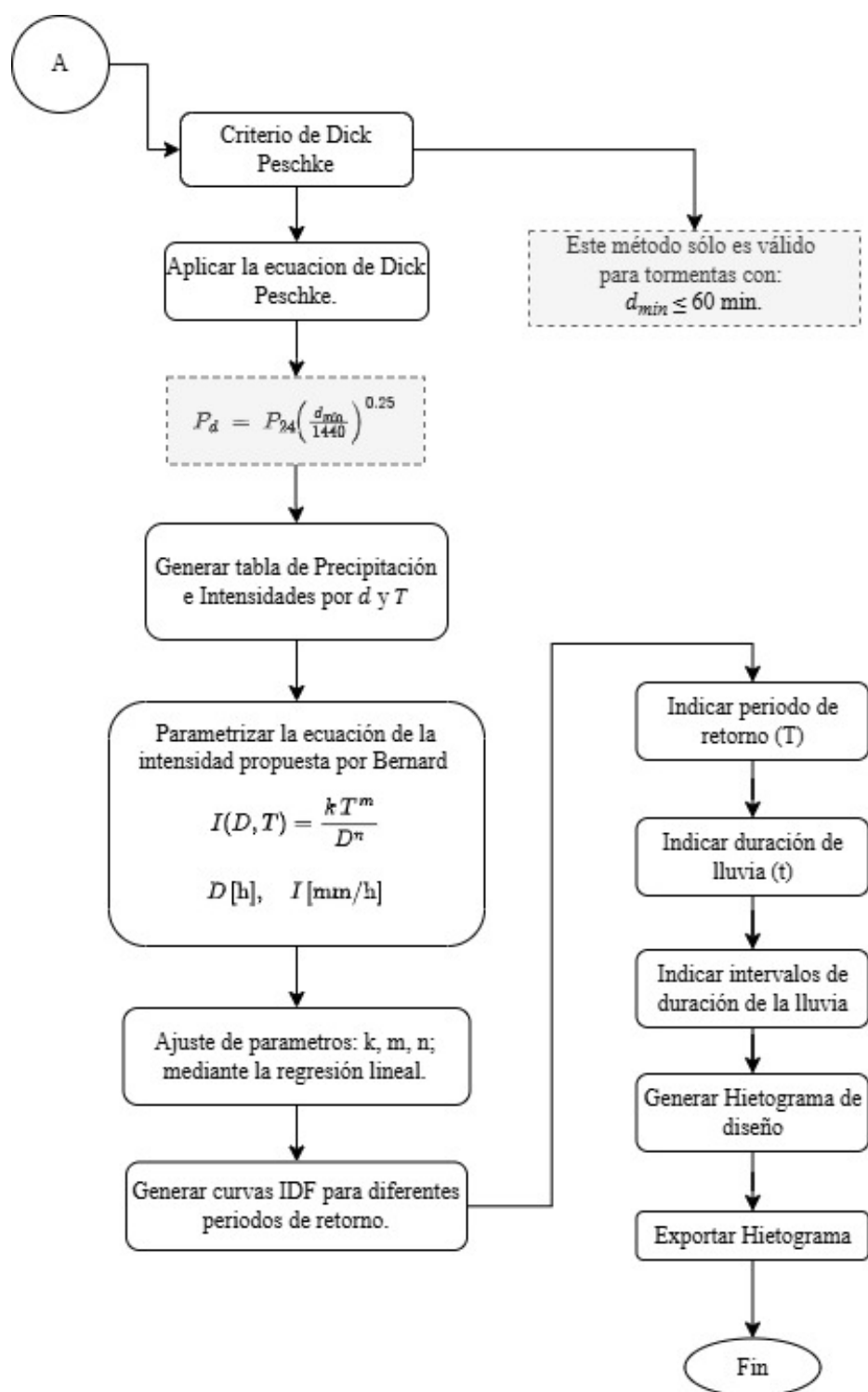


Figura 11

Diagrama de flujo del método Frederick Bell adaptado por Yance Tueros

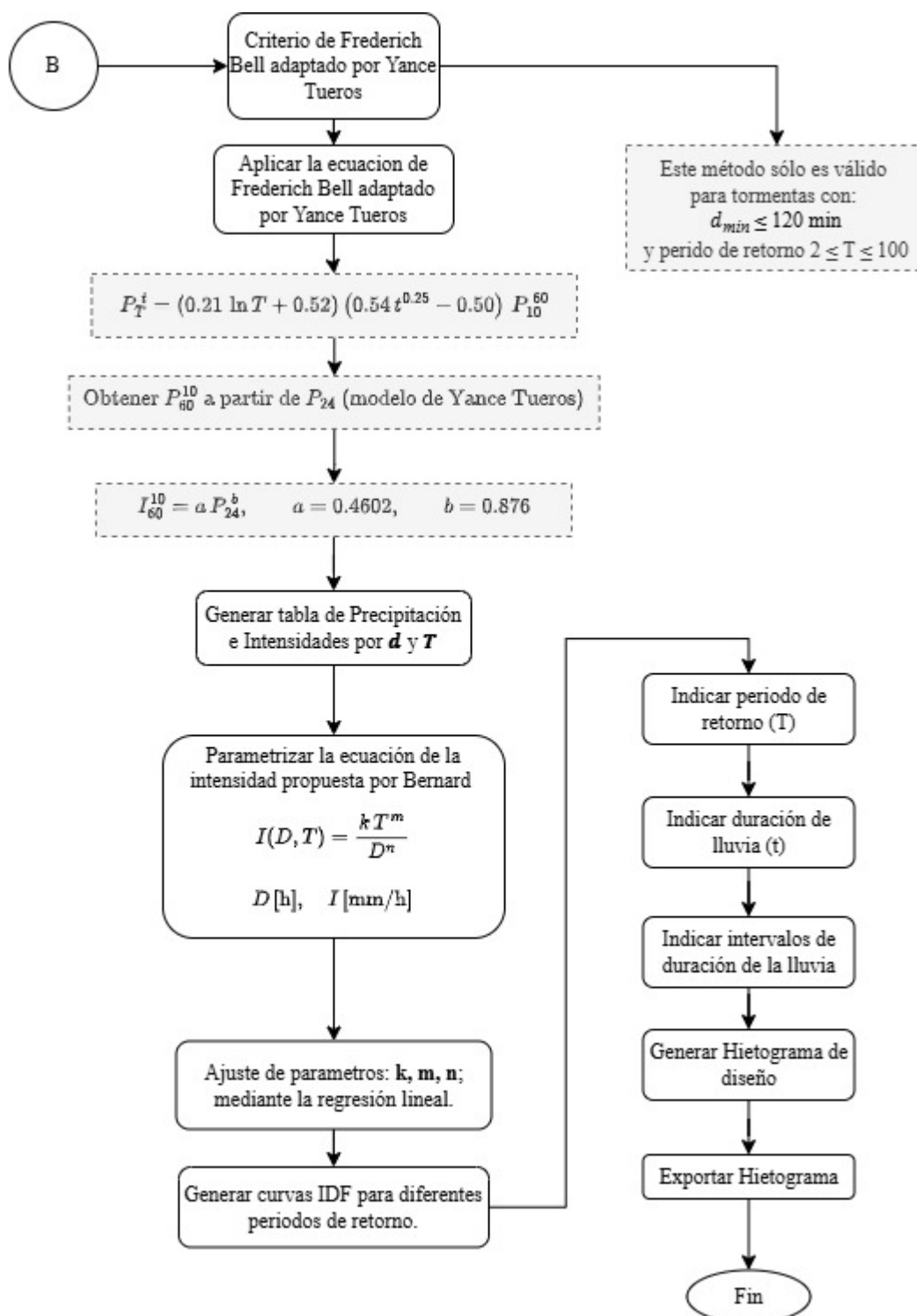
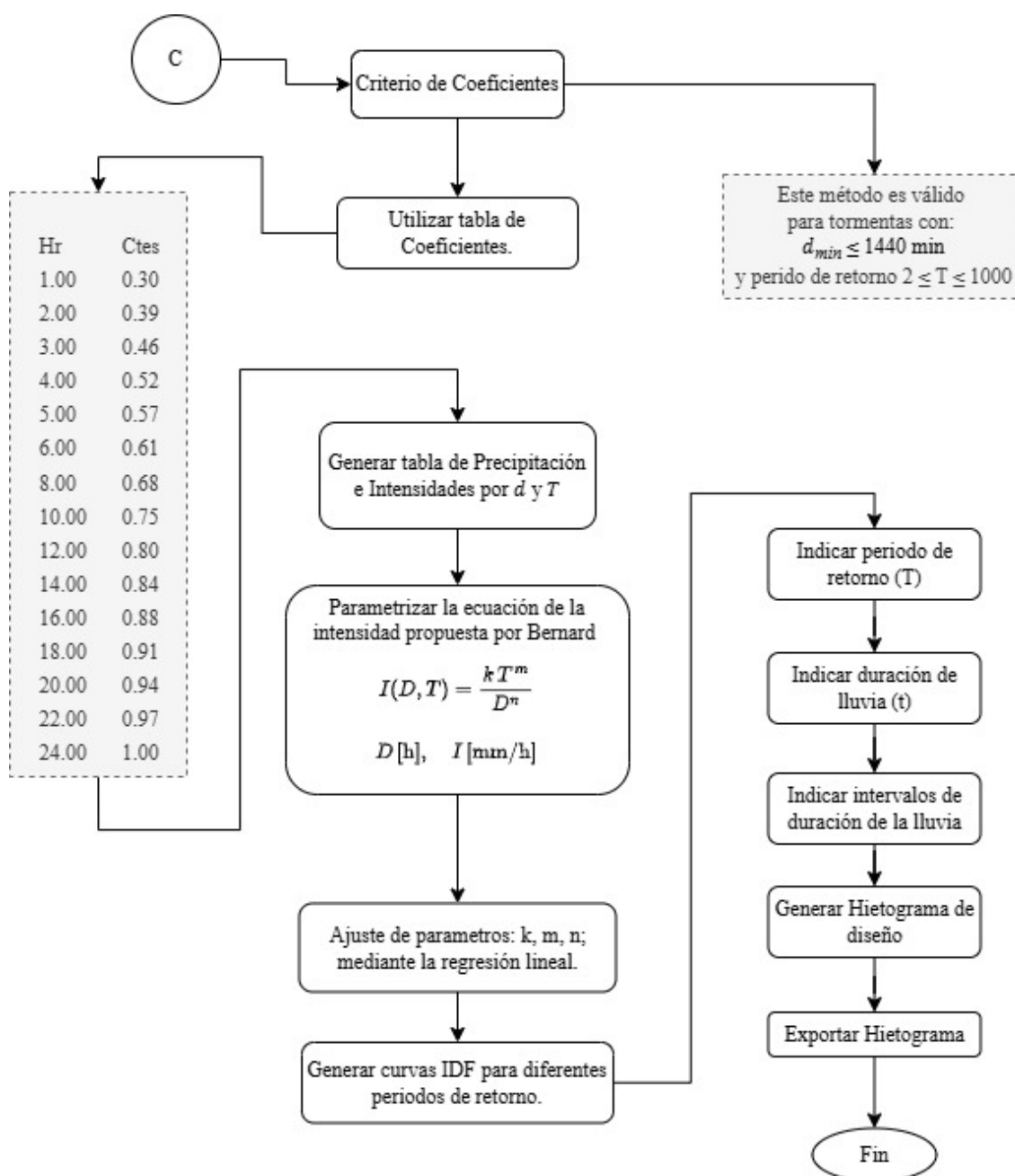


Figura 12

Diagrama de flujo del método de Coeficientes



3.9.4.7. Módulo IILA-SENAMHI-UNI

El módulo IILA-SENAMHI-UNI fue incorporado al programa computacional como una alternativa de estimación hidrológica para aquellos casos en los que no se dispone de registros históricos suficientes de precipitación máxima en 24 horas. Su función principal es permitir la obtención de

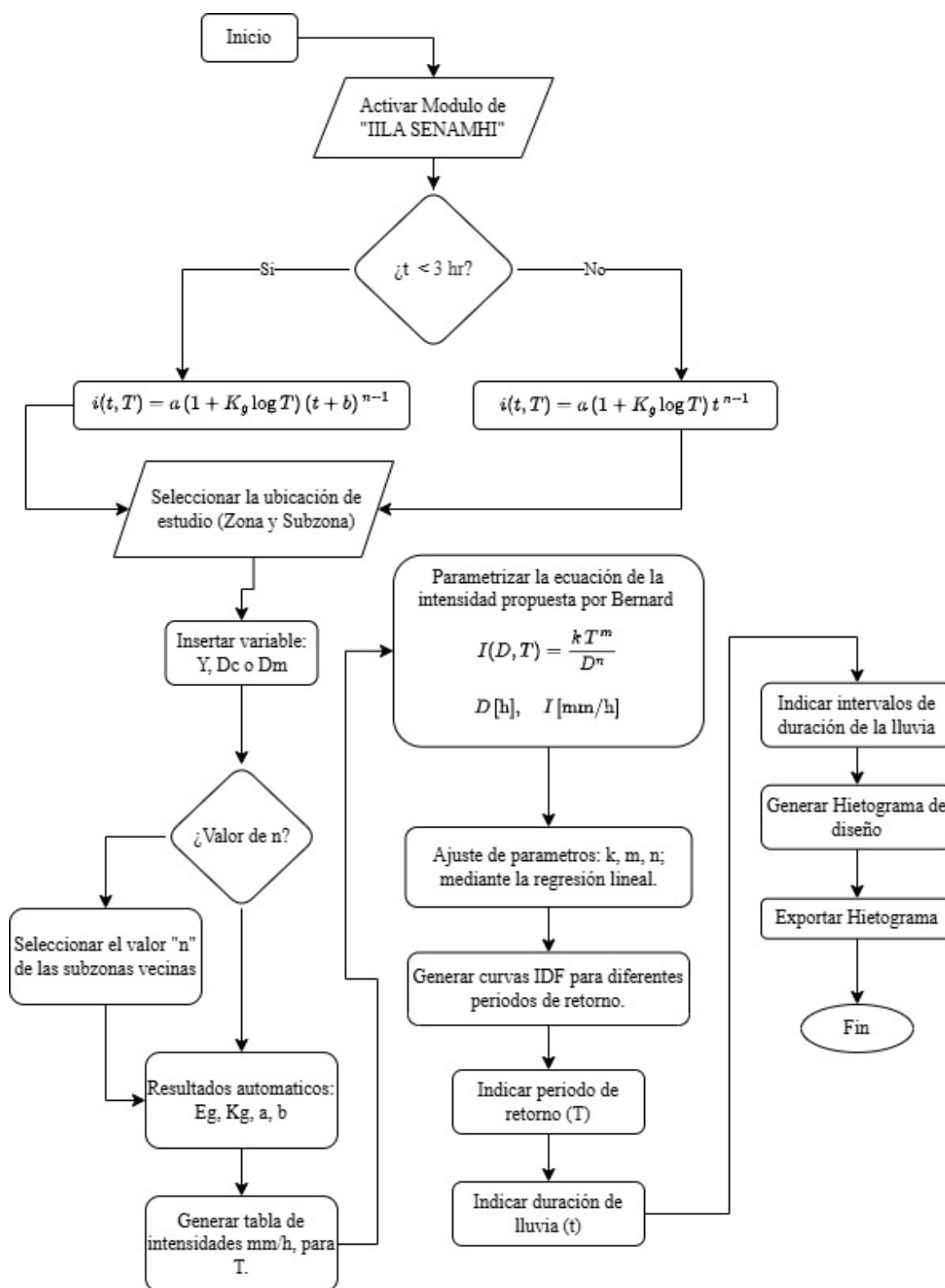
intensidades de lluvia, curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) e hietogramas de diseño a partir de parámetros regionales y geográficos del área de estudio, sin requerir una serie observada de precipitación máxima diaria.

En este módulo, el programa utiliza la información requerida por la metodología IILA–SENAMHI, como la región pluviométrica, la subregión correspondiente, la altitud del sitio y el período de retorno de interés, para estimar intensidades de lluvia en diferentes duraciones. Posteriormente, estas intensidades se parametrizan mediante la ecuación IDF adoptada en la investigación, lo que permite generar las curvas IDF y los hietogramas de diseño correspondientes.

De esta manera, el módulo IILA–SENAMHI–UNI cumple una función complementaria dentro del programa, ya que amplía la aplicabilidad de la herramienta en contextos donde la información pluviométrica es limitada o inexistente. El diagrama de flujo correspondiente se presenta en la Figura 13.

Figura 13

Diagrama de flujo del método IILA-SENAMHI-UNI



Para utilizar correctamente el módulo IILA-SENAMHI-UNI y los métodos hidrológicos incorporados en el programa, es necesario revisar previamente la calidad, continuidad y longitud de la serie de precipitación máxima en 24 horas. Esta verificación permite identificar datos faltantes, valores dudosos o registros inconsistentes que podrían afectar el análisis estadístico, el ajuste de distribuciones y la estimación de intensidades de diseño.

Asimismo, debe evaluarse si la estación pluviométrica representa adecuadamente el área de estudio, considerando posibles variaciones por altitud, relieve y clima. En el caso del método IILA-SENAMHI-UNI, también es importante seleccionar correctamente la zona o subzona pluviométrica, ya que sus parámetros regionales influyen directamente en los resultados.

Finalmente, las estimaciones para periodos de retorno altos deben interpretarse con cautela, debido a la mayor incertidumbre asociada a eventos extremos. Por ello, el programa debe entenderse como una herramienta de apoyo para revisar datos, aplicar métodos hidrológicos e interpretar resultados, sin reemplazar el criterio técnico del usuario.

3.10. ORGANIZACIÓN Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados generados por el programa computacional fueron organizados y evaluados para verificar su coherencia, consistencia y utilidad dentro del análisis hidrológico desarrollado. Para ello, se consideró la presentación ordenada de las salidas numéricas y gráficas, así como su comparación con herramientas de referencia, con el propósito de sustentar la confiabilidad del procedimiento implementado.

En este apartado se describe cómo los resultados fueron procesados, organizados, comparados e interpretados, de acuerdo con las distintas etapas del análisis y los métodos hidrológicos aplicados. De este modo, la validación de resultados representa el cierre metodológico del desarrollo del programa computacional.

3.10.1. Organización y procesamiento de los resultados

Los resultados obtenidos con el programa computacional fueron organizados de manera sistemática para facilitar su análisis, comparación e interpretación. Las salidas del software comprendieron resultados numéricos y gráficos, entre ellos precipitaciones máximas de diseño, intensidades de lluvia, curvas IDF e hietogramas, los cuales se presentaron en tablas y gráficos según el método hidrológico aplicado.

La información fue procesada de forma independiente para cada método considerado en la investigación, lo que permitió distinguir con claridad los resultados de Dick Peschke, Frederick Bell adaptado por Yance Tueros, Coeficientes e IILA–SENAMHI–UNI. Esta organización facilitó la revisión comparativa y sirvió de base para su validación e interpretación técnica.

3.10.2. Evaluación de la consistencia interna de los resultados

La evaluación de la consistencia interna de los resultados tuvo como propósito verificar la coherencia entre los datos de entrada, los procedimientos de cálculo aplicados y las salidas generadas por el programa computacional. Esta revisión permitió comprobar que los resultados obtenidos guardaran una relación lógica con el comportamiento hidrológico esperado y con la secuencia metodológica desarrollada en la investigación.

Para ello, se revisó la correspondencia entre las precipitaciones máximas de diseño, las intensidades calculadas, las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) y los hietogramas generados, verificando que los valores mantuvieran coherencia entre sí para los distintos períodos de retorno, duraciones y métodos hidrológicos aplicados. Asimismo, se comprobó que la representación gráfica de las curvas y de los hietogramas fuera consistente con los resultados numéricos producidos por el programa.

De esta manera, la evaluación de consistencia interna permitió confirmar que las salidas del software responden de forma ordenada a los datos procesados y a los procedimientos metodológicos implementados, constituyendo una base importante para la validación comparativa presentada en el apartado siguiente.

3.10.3. Validación *mediante comparación de herramientas de referencia.*

La evaluación de la consistencia interna de los resultados tuvo como propósito verificar la coherencia entre los datos de entrada, los procedimientos de cálculo aplicados y las salidas generadas por el programa computacional. Esta revisión permitió comprobar que los resultados obtenidos fueran congruentes con el comportamiento hidrológico esperado y con la secuencia metodológica desarrollada en la investigación.

Para ello, se analizó la correspondencia entre las precipitaciones máximas de diseño, las intensidades calculadas, las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) y los hietogramas generados, verificando que los valores mantuvieran una relación consistente para los distintos períodos de

retorno, duraciones y métodos hidrológicos aplicados. Asimismo, se comprobó que la representación gráfica de las curvas y los hietogramas coincidiera con los resultados numéricos producidos por el programa.

En conjunto, esta evaluación permitió confirmar que las salidas del software responden de manera ordenada a los datos procesados y a los procedimientos metodológicos implementados, constituyendo una base sólida para la validación comparativa presentada en el apartado siguiente.

3.10.4. Interpretación técnica de los resultados.

La evaluación de la consistencia interna de los resultados tuvo como propósito verificar la coherencia entre los datos de entrada, los procedimientos de cálculo aplicados y las salidas generadas por el programa computacional. Esta revisión permitió comprobar que los resultados obtenidos fueran coherentes con el comportamiento hidrológico esperado y con la secuencia metodológica desarrollada en la investigación.

Para ello, se analizó la correspondencia entre las precipitaciones máximas de diseño, las intensidades calculadas, las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) y los hietogramas generados, verificando que los valores mantuvieran una relación consistente para los distintos períodos de retorno, duraciones y métodos hidrológicos aplicados. Asimismo, se comprobó que la representación gráfica de las curvas y los hietogramas correspondiera con los resultados numéricos producidos por el programa. En conjunto, esta evaluación permitió confirmar que las salidas del software responden de manera ordenada a los datos procesados y a los procedimientos metodológicos implementados, constituyendo una base sólida para la validación comparativa presentada en el apartado siguiente.

3.11. PRINCIPIOS ÉTICOS

El desarrollo de la presente investigación se sustentó en principios de integridad, transparencia y rigor técnico en el manejo de la información pluviométrica y en la construcción del programa computacional. Los datos empleados fueron utilizados exclusivamente con fines académicos y de investigación, respetando su procedencia institucional y evitando cualquier manipulación que alterara su contenido original o afectara la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Asimismo, se garantizó la trazabilidad y reproducibilidad del procedimiento metodológico, documentando de manera ordenada las etapas de análisis estadístico, ajuste de distribuciones de probabilidad, generación de curvas IDF e hietogramas, así como la validación comparativa del

programa con herramientas de referencia. Esta práctica permitió asegurar que los resultados puedan ser verificados y revisados de manera objetiva. Finalmente, la presentación de los resultados se realizó con criterios de veracidad, consistencia y responsabilidad académica, procurando que las conclusiones derivadas del estudio reflejen de manera fiel el comportamiento de los datos analizados y el desempeño real de la herramienta desarrollada. De esta manera, los principios éticos contribuyen a respaldar la confiabilidad científica y técnica de la investigación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DESARROLLO DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL

4.1.1. Implementación del modelo matemático

El modelo matemático fue implementado en un programa desarrollado en Visual Studio mediante el lenguaje de programación Visual Basic .NET, lo que permitió automatizar el cálculo de precipitaciones de diseño, intensidades de lluvia, curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) e hietogramas de diseño.

El sistema integra los procedimientos hidrológicos y estadísticos descritos en el Capítulo II, incluyendo el análisis de la serie de precipitación máxima en 24 horas, el ajuste de distribuciones de probabilidad, la estimación de precipitaciones para distintos períodos de retorno y su desagregación temporal.

El programa opera bajo un flujo secuencial que inicia con el ingreso de datos, seguido del análisis estadístico y probabilístico, la obtención de precipitaciones de diseño y su transformación en intensidades de lluvia. Finalmente, genera de forma automática las curvas IDF y los hietogramas de diseño.

Tabla 7

Métodos hidrológicos agregados en el programa computacional

Método	Tipo de método	Información requerida	Productos generados
Dick Peschke	Empírico	Precipitación máxima en 24 h	Intensidades, curvas IDF, hietograma
Frederich Bell adaptado por Yance Tueros	Empírico	Precipitación máxima en 24 h	Intensidades, curvas IDF, hietograma
Método de Coeficientes	Empírico	Precipitación máxima en 24 h	Intensidades, curvas IDF, hietograma

IILA–SENAMHI–UNI	Alternativo	No requiere datos históricos	Intensidades, curvas IDF, hietograma
------------------	-------------	------------------------------	--------------------------------------

4.1.2. Estructura modular del programa computacional

El programa fue desarrollado bajo una estructura modular, en la cual cada proceso hidrológico y estadístico se ejecuta como un componente independiente. Esta organización permite una disposición lógica del análisis y una adecuada interacción entre los diferentes módulos del sistema.

El sistema incluye los siguientes módulos:

- Gestión de datos: permite el ingreso y almacenamiento de la serie de precipitación máxima en 24 horas.
- Análisis de datos dudosos: identifica valores atípicos mediante el método USBR.
- Análisis estadístico y consistencia: evalúa la serie mediante estadísticos descriptivos y pruebas de aleatoriedad, independencia, homogeneidad y estacionariedad.
- Ajuste de distribuciones de probabilidad: determina la distribución más representativa y estima precipitaciones para diferentes períodos de retorno.
- Curvas IDF e hietogramas: genera intensidades de precipitación, curvas IDF e hietogramas de diseño a partir de las precipitaciones estimadas.
- Módulo IILA–SENAMHI–UNI: permite obtener resultados en ausencia de datos históricos, utilizando parámetros regionales.

Esta estructura permite transformar los datos de entrada en resultados hidrológicos de manera secuencial, garantizando consistencia, trazabilidad y facilidad de uso del programa computacional.

4.1.3. Interfaz gráfica del programa computacional

La interfaz gráfica del programa fue diseñada con el propósito de facilitar la interacción del usuario con el modelo matemático, permitiendo un ingreso ordenado de datos y una visualización clara de los resultados generados.

El sistema presenta una organización estructurada y de fácil uso, en la que el usuario puede acceder a los diferentes módulos del programa a través de una interfaz intuitiva. Esta organización refleja el enfoque modular del software, permitiendo visualizar de manera independiente los resultados de cada etapa del proceso hidrológico.

El funcionamiento del programa inicia con el ingreso de datos y continúa con el acceso a los módulos de análisis y generación de resultados, lo que facilita la comprensión del flujo del modelo implementado.

4.1.3.1. Interfaz principal del programa

La interfaz principal del programa comprende la pantalla de inicio y el entorno general de trabajo del software. En la Figura 14 se muestra la pantalla inicial, desde la cual el usuario puede acceder al sistema mediante la opción “Ingresar” o finalizar la ejecución a través del botón “Salir”. En esta interfaz se presenta el nombre del programa junto con elementos gráficos representativos del ámbito hidrológico, lo que permite identificar su propósito de manera inmediata.

Una vez dentro del sistema, la Figura 15 muestra el entorno principal de trabajo, desde el cual el usuario accede a las diferentes funcionalidades mediante una barra de menú que incluye opciones como *Archivo*, *Herramientas*, *Reporte* y *Ayuda*. Asimismo, se dispone de una barra de herramientas con accesos directos que facilitan la navegación y la ejecución de los distintos módulos del programa.

Figura 14

Interfaz de inicio del programa computacional

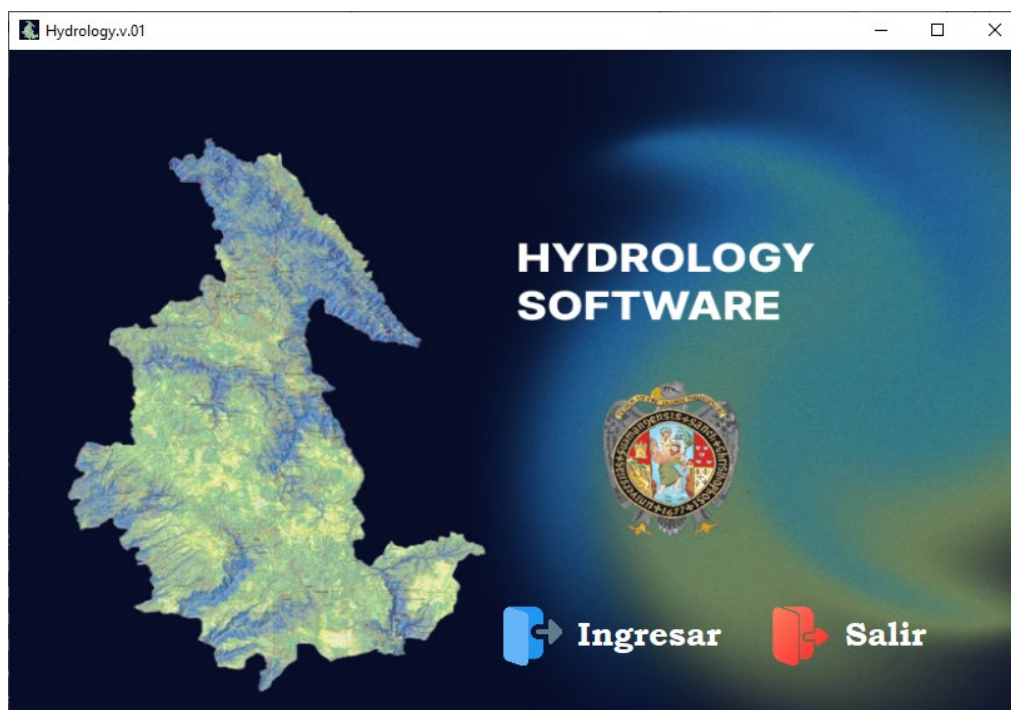
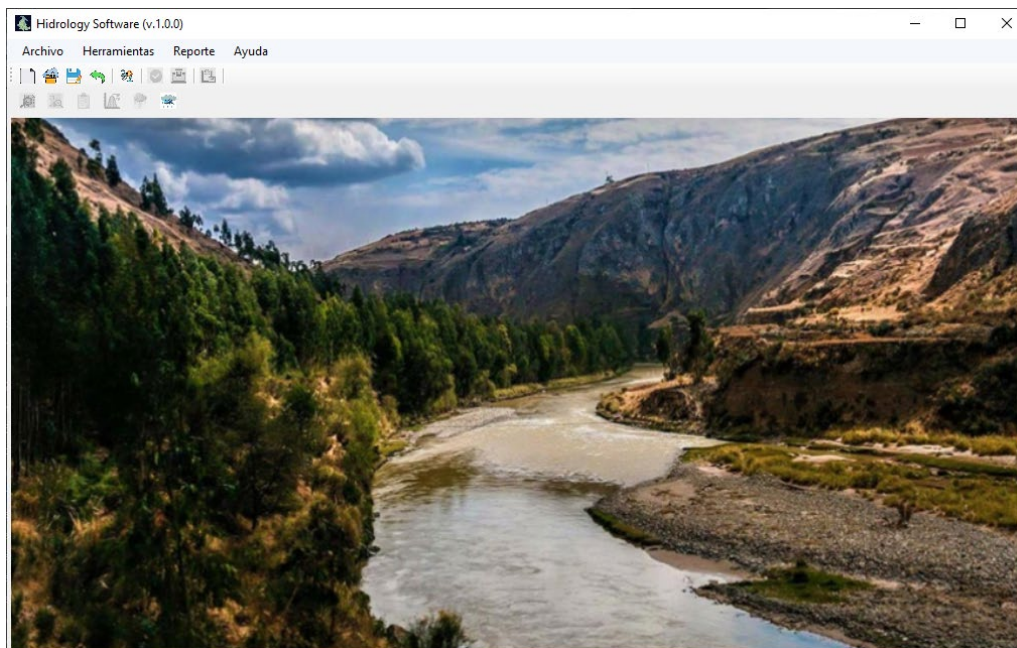


Figura 15

Interfaz principal del programa computacional



En la parte central se presenta una imagen representativa del entorno hidrológico, la cual cumple una función visual dentro del sistema. Esta interfaz constituye el espacio principal de interacción del usuario, permitiendo acceder de manera organizada a los módulos de análisis y generación de resultados.

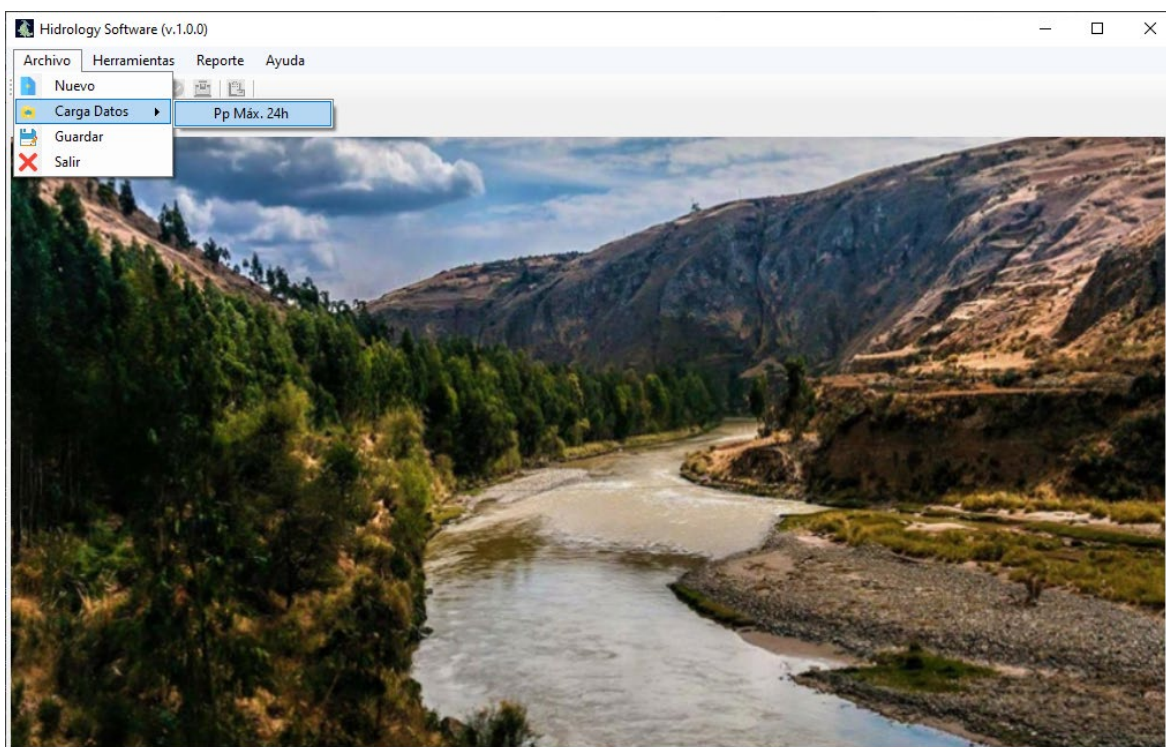
4.1.3.2. Interfaz de visualización de datos

La interfaz de visualización de datos presenta la serie de precipitación máxima en 24 horas en formato tabular y gráfico, permitiendo observar su comportamiento temporal.

En la Figura 16 se muestra la información en formato de tabla, donde se registran los valores anuales de precipitación máxima. Por su parte, la Figura 15 presenta la representación gráfica de dichos datos, lo que facilita la identificación de variaciones y posibles tendencias en la serie.

Figura 16

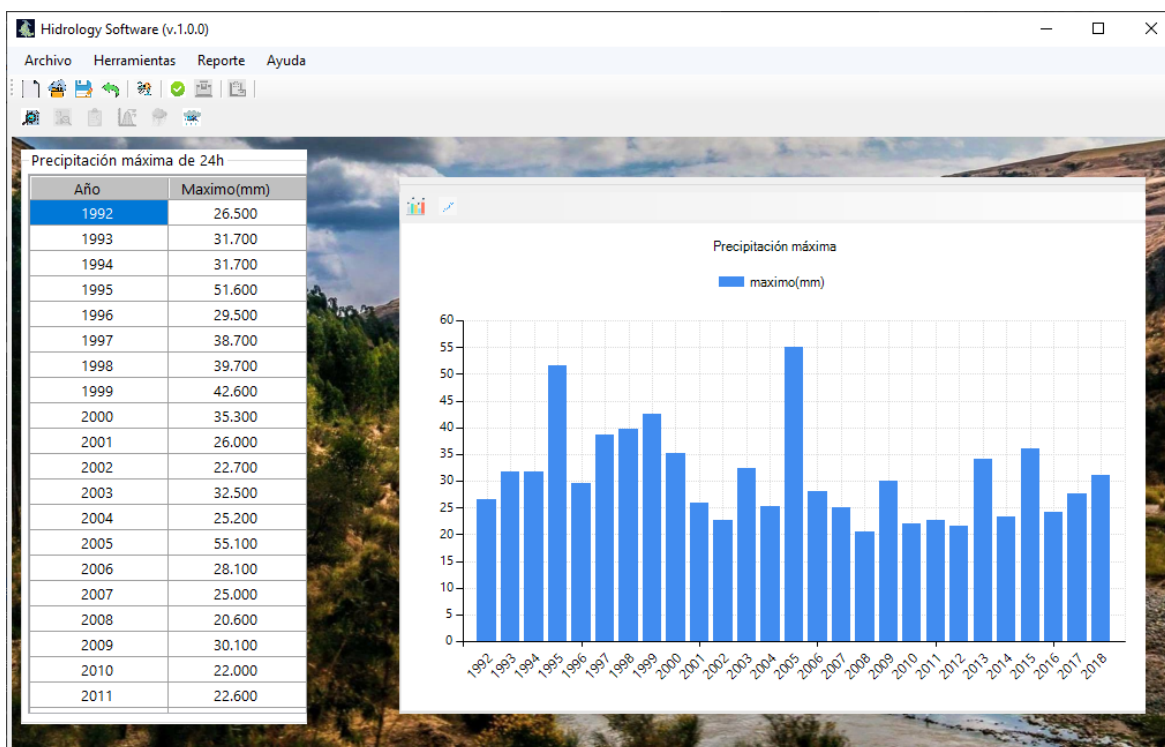
Interfaz de ingreso de datos de $P_{\text{máx}}$ de 24 horas



Esta interfaz permite realizar una verificación preliminar de la información cargada, así como una mejor interpretación de los datos antes de su procesamiento en los módulos de análisis estadístico y de frecuencia.

Figura 17

Interfaz de visualización de datos de P_{máx} de 24 horas



4.1.3.3. Interfaz de análisis de datos dudosos

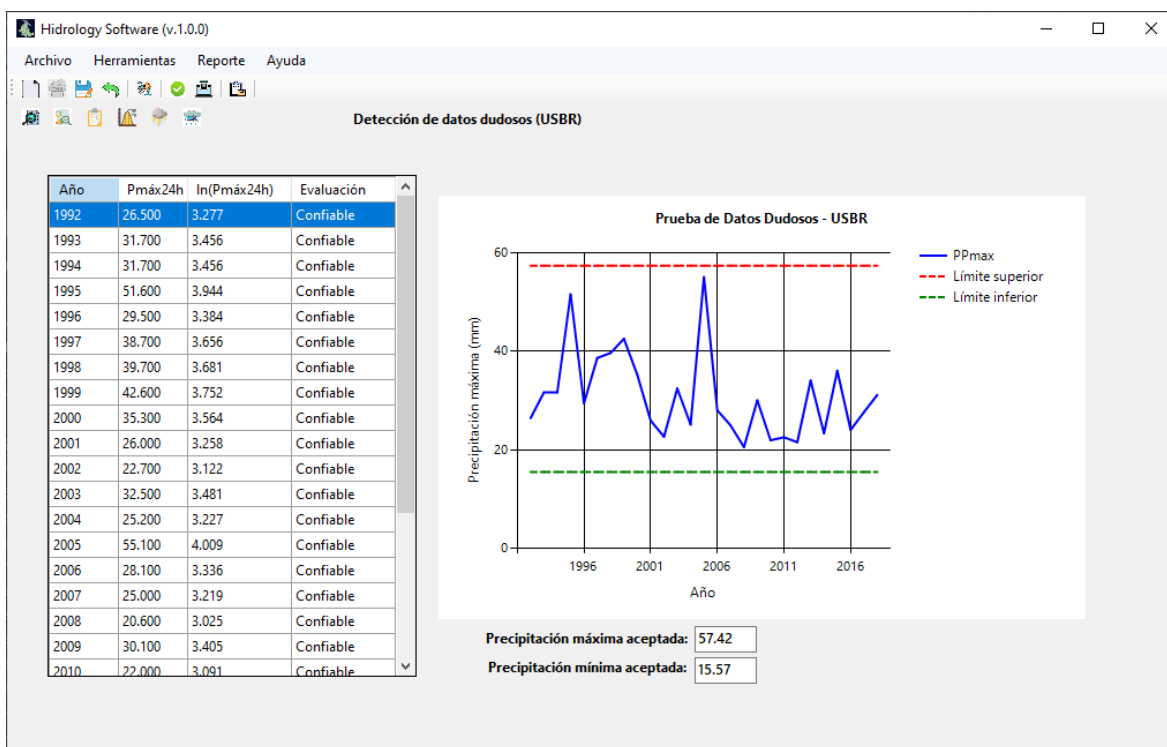
La interfaz de análisis de datos dudosos presenta los resultados de la evaluación de la serie de precipitación máxima en 24 horas mediante el método **USBR**.

En la **Figura 16** se muestra la información en formato tabular, donde se incluyen los valores de precipitación, su transformación logarítmica y la clasificación de cada dato como confiable o potencialmente dudoso. Además, se presenta la representación gráfica de la serie, junto con los límites superior e inferior establecidos, lo que permite identificar visualmente los valores que se encuentran fuera del rango aceptable.

Esta interfaz permite al usuario identificar la presencia de datos dudosos, constituyendo una etapa previa fundamental para garantizar la calidad de la información antes de realizar el análisis estadístico y de frecuencia.

Figura 18

Interfaz del módulo de análisis de datos dudosos



4.1.3.4. Interfaz de análisis estadístico de la serie

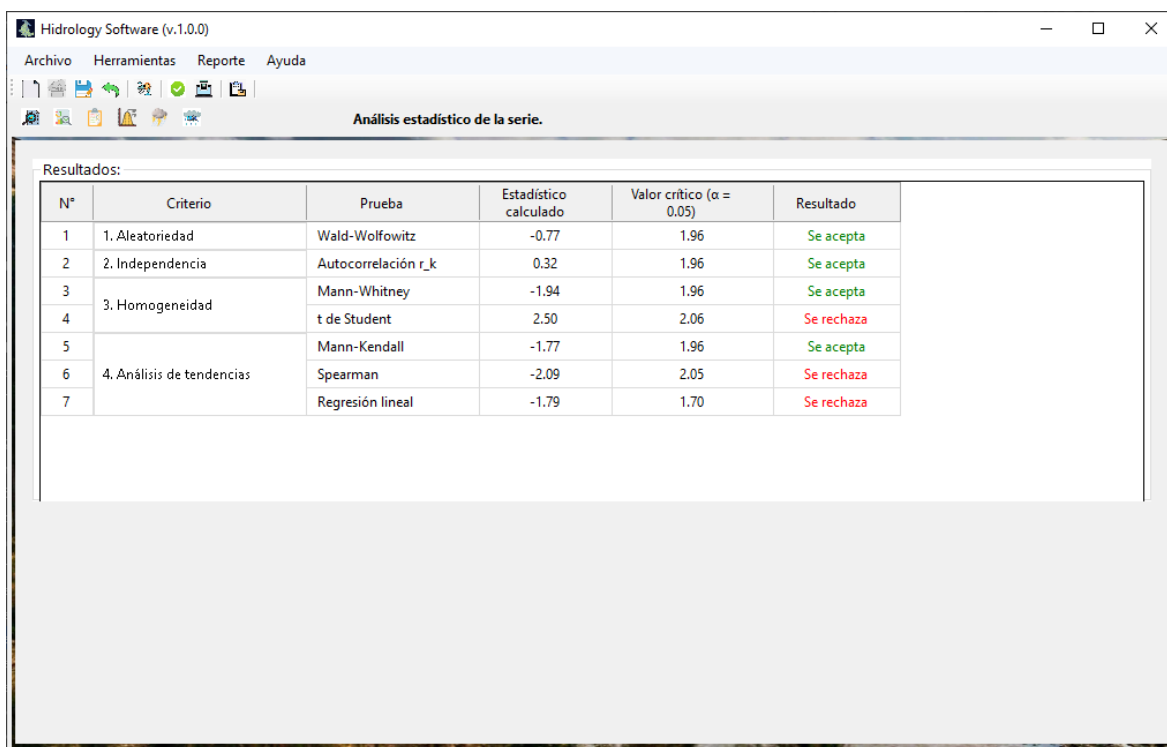
La interfaz de análisis estadístico muestra los resultados de la evaluación de la serie de precipitación máxima en 24 horas mediante diversas pruebas estadísticas.

En la Figura 19 se presenta la información en formato tabular, incluyendo los criterios evaluados, estadísticos calculados, valores críticos y la decisión al 95% de significancia. Se consideran pruebas de *aleatoriedad*, *independencia*, *homogeneidad* y *tendencia*.

Estos resultados permiten verificar la consistencia de la serie y su aptitud para el análisis de frecuencia hidrológica.

Figura 19

Interfaz del módulo de cálculo de análisis estadístico de la serie



N°	Criterio	Prueba	Estadístico calculado	Valor crítico ($\alpha = 0.05$)	Resultado
1	1. Aleatoriedad	Wald-Wolfowitz	-0.77	1.96	Se acepta
2	2. Independencia	Autocorrelación r_k	0.32	1.96	Se acepta
3	3. Homogeneidad	Mann-Whitney	-1.94	1.96	Se acepta
4		t de Student	2.50	2.06	Se rechaza
5	4. Análisis de tendencias	Mann-Kendall	-1.77	1.96	Se acepta
6		Spearman	-2.09	2.05	Se rechaza
7		Regresión lineal	-1.79	1.70	Se rechaza

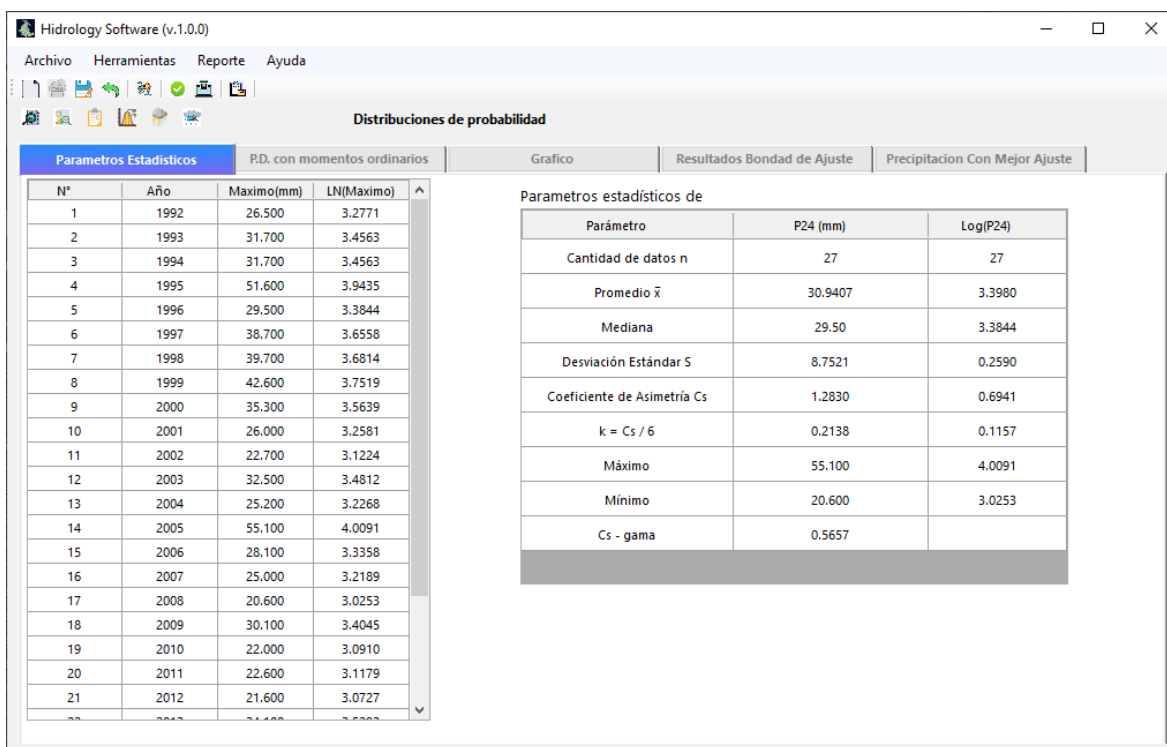
4.1.3.5. Interfaz de distribución de probabilidades

La interfaz de distribución de probabilidades presenta los resultados del análisis de frecuencia aplicado a la serie de precipitación máxima en 24 horas, permitiendo evaluar su comportamiento probabilístico. En este módulo se muestran, de forma secuencial, los parámetros estadísticos de la serie, la estimación de los parámetros de las distribuciones de probabilidad mediante el método de los momentos ordinarios y la comparación gráfica entre los valores observados y teóricos. Asimismo, se presentan los resultados de las pruebas de bondad de ajuste y la selección de la distribución que mejor representa la serie analizada.

De esta manera, la interfaz integra los resultados del análisis probabilístico en un solo entorno, facilitando su interpretación y constituyendo la base para la estimación de precipitaciones asociadas a diferentes períodos de retorno.

Figura 20

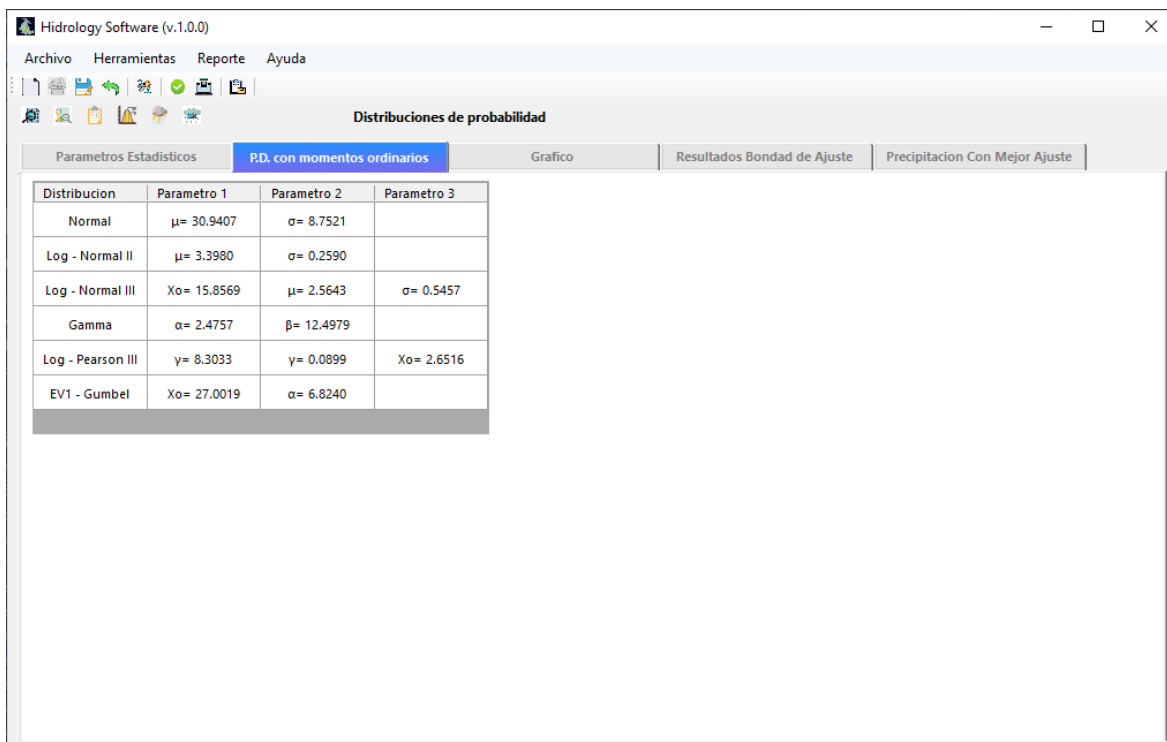
Interfaz de parámetros estadísticos de la serie de P_{máx} de 24 horas



La interfaz presenta los parámetros estadísticos de la serie de precipitación máxima de 24 horas, incluyendo medidas como la media, desviación estándar, coeficiente de variación, asimetría y curtosis. Estos resultados permiten caracterizar el comportamiento estadístico de los datos y comprender su variabilidad y tendencia general. Asimismo, constituyen la base para el análisis probabilístico posterior y la selección de modelos adecuados.

Figura 21

Interfaz de los parámetros de distribución de probabilidad, estimados por el método de momentos ordinarios

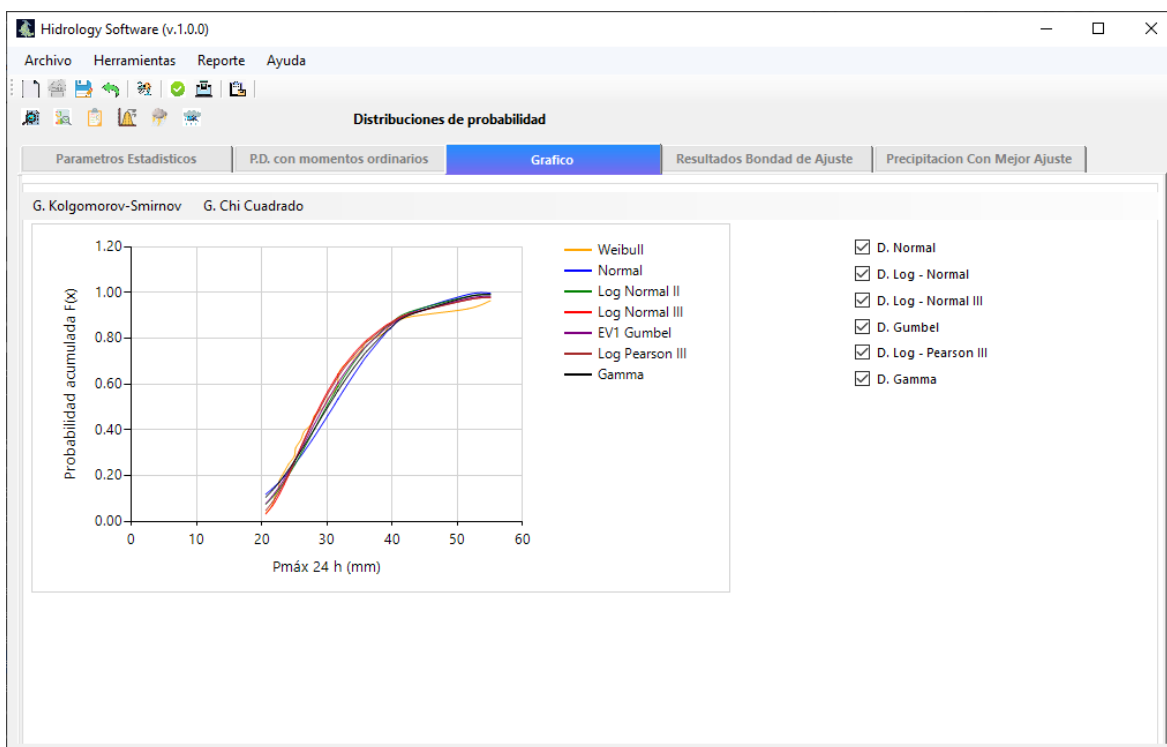


Distribucion	Parametro 1	Parametro 2	Parametro 3
Normal	$\mu = 30.9407$	$\sigma = 8.7521$	
Log - Normal II	$\mu = 3.3980$	$\sigma = 0.2590$	
Log - Normal III	$X_0 = 15.8569$	$\mu = 2.5643$	$\sigma = 0.5457$
Gamma	$\alpha = 2.4757$	$\beta = 12.4979$	
Log - Pearson III	$\gamma = 8.3033$	$\gamma = 0.0899$	$X_0 = 2.6516$
EV1 - Gumbel	$X_0 = 27.0019$	$\alpha = 6.8240$	

La interfaz muestra los parámetros estimados de las distribuciones de probabilidad mediante el método de los momentos ordinarios. Estos parámetros permiten definir matemáticamente cada distribución evaluada y son fundamentales para su ajuste a la serie de datos, así como para la posterior estimación de precipitaciones asociadas a diferentes períodos de retorno.

Figura 22

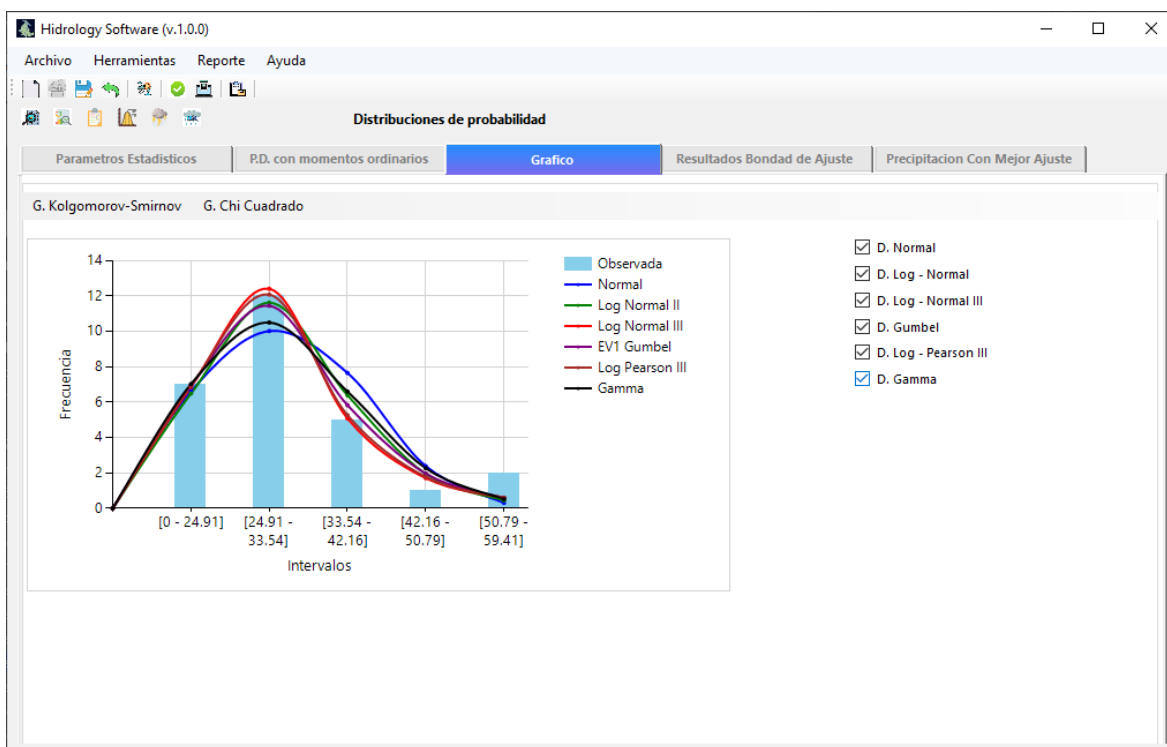
Ajuste gráfico de distribuciones de probabilidad acumulada para $P_{\text{máx}} 24h$



En esta figura se compara la probabilidad acumulada empírica con las funciones de distribución teóricas ajustadas a los datos de precipitación máxima en 24 horas. Se muestran las distribuciones Weibull, Normal, Log-Normal II, Log-Normal III, EV1 Gumbel, Log-Pearson III y Gamma, lo que permite evaluar visualmente qué tan cercano es cada ajuste a la tendencia acumulada observada en los datos analizados.

Figura 23

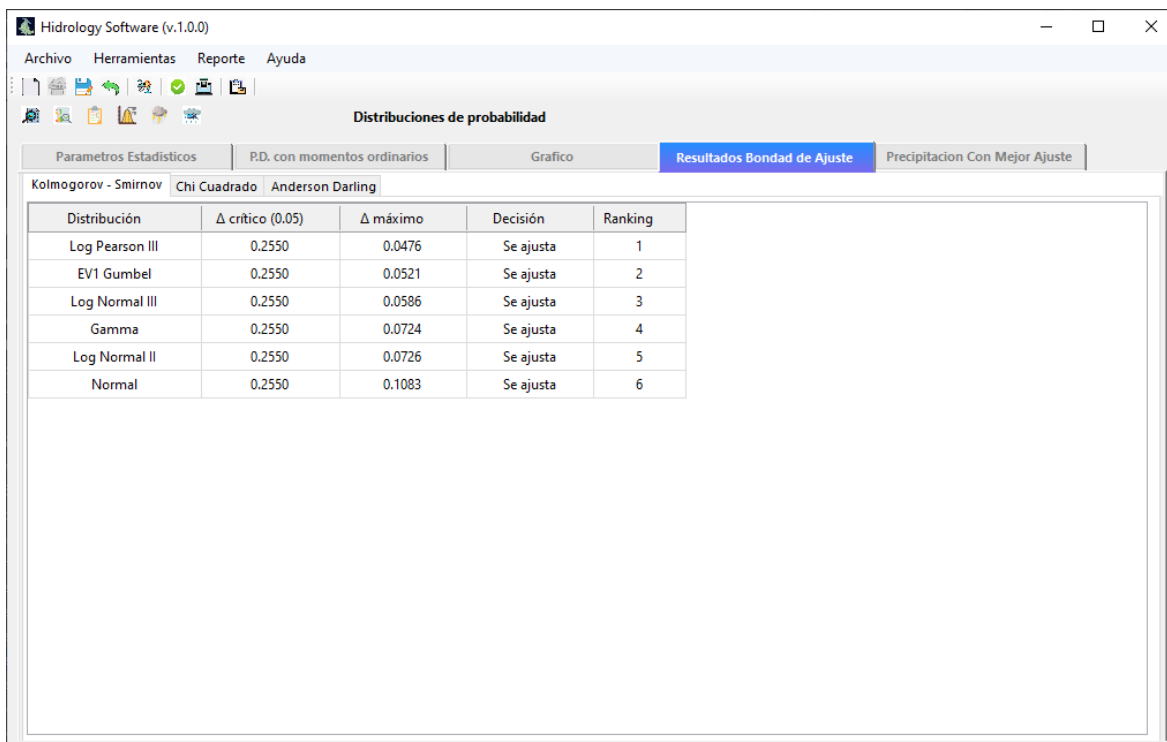
Comparación de frecuencias observadas y teóricas para $P_{\text{máx}} 24h$



En esta figura se presenta la distribución de frecuencias observadas de la precipitación máxima en 24 horas, en comparación con las frecuencias teóricas estimadas mediante distintos modelos probabilísticos. Esta representación gráfica permite apreciar visualmente qué tan bien se ajusta cada distribución en los diferentes intervalos de clase, sirviendo como apoyo en la evaluación de la bondad de ajuste.

Figura 24

Interfaz del módulo de evaluación de la bondad de ajuste mediante la prueba Kolmogorov–Smirnov



La interfaz muestra los resultados de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov–Smirnov aplicada a las distribuciones de probabilidad. Esta prueba permite evaluar la concordancia entre la distribución teórica y los datos observados, considerando la máxima diferencia entre las funciones de distribución acumulada.

Figura 25

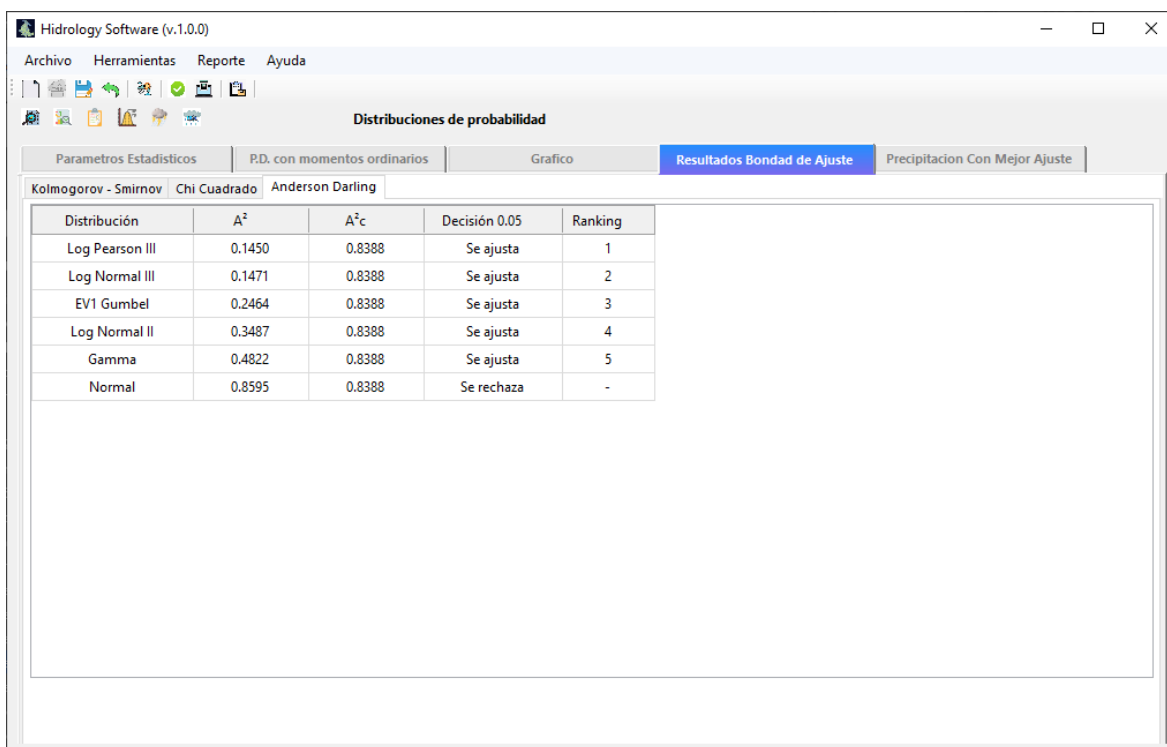
Interfaz del módulo de evaluación de la bondad de ajuste mediante la prueba Chi-Cuadrado

Distribución	X ²	gl	X ² critico (α=0.05)	p-value	Decisión 0.05	Ranking
Log Pearson III	3.658	1	3.841	0.055792	Se ajusta	1
Log Normal III	3.738	1	3.841	0.053185	Se ajusta	2
EV1 Gumbel	4.071	2	5.991	0.130634	Se ajusta	3
Gamma	5.601	2	5.991	0.060794	Se ajusta	4
Log Normal II	6.277	2	5.991	0.043347	Se rechaza	-
Normal	11.775	2	5.991	0.002774	Se rechaza	-

La interfaz presenta los resultados de la prueba Chi-Cuadrado, utilizada para evaluar la bondad de ajuste de las distribuciones de probabilidad mediante la comparación entre frecuencias observadas y esperadas. Esta prueba permite verificar la adecuación del modelo estadístico a los datos analizados.

Figura 26

Interfaz del módulo de evaluación de la bondad de ajuste mediante la prueba Anderson-Darling

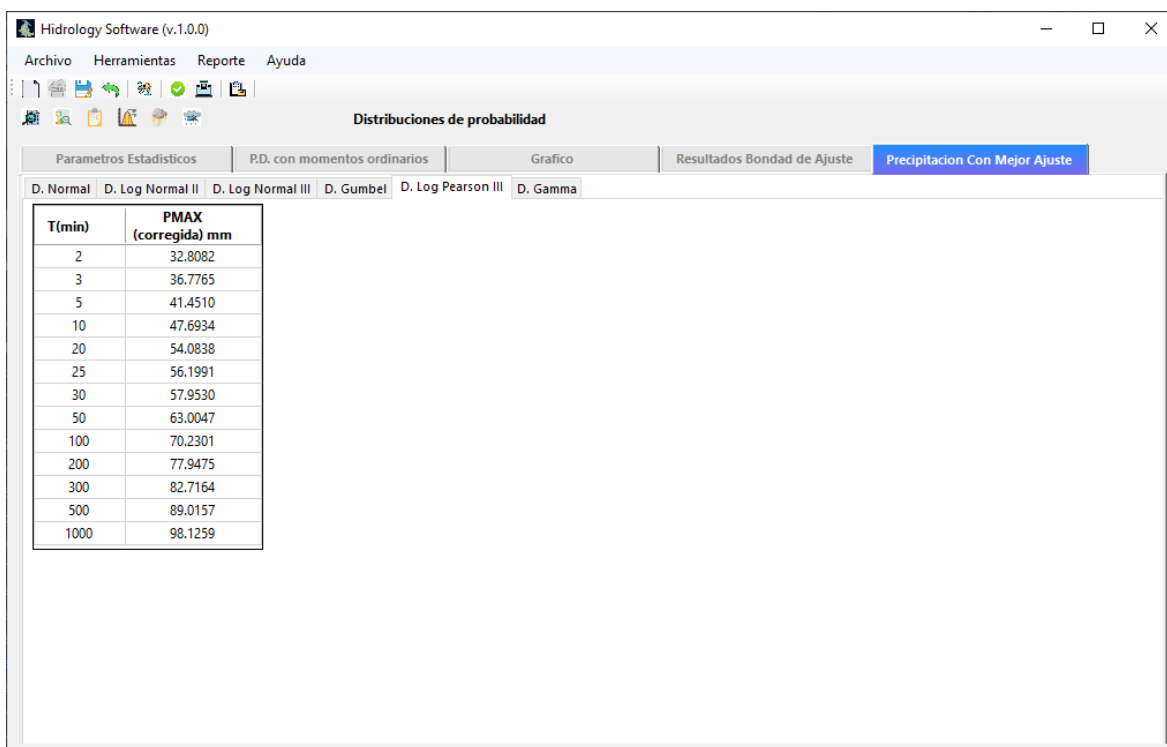


La interfaz muestra los resultados de la prueba Anderson–Darling, la cual evalúa el ajuste de las distribuciones de probabilidad con mayor sensibilidad en los valores extremos de la serie, siendo especialmente útil en el análisis de eventos hidrológicos extremos.

La interfaz de la Figura 27 presenta la selección de la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a la serie de precipitación máxima en 24 horas, considerando de manera conjunta los resultados de las pruebas de bondad de ajuste aplicadas. Esta selección constituye una etapa clave dentro del análisis de frecuencia, ya que define la distribución que será utilizada para la estimación de precipitaciones de diseño.

Figura 27

Interfaz del módulo de selección de la distribución de probabilidad



4.1.3.6. Interfaz de la distribución temporal de la precipitación

El programa muestra la distribución de la precipitación en el tiempo, permitiendo obtener valores de precipitación e intensidades asociadas a distintas duraciones de tormenta. Estos resultados se generan mediante los métodos hidrológicos implementados, tales como Dick Peschke, Frederick Bell adaptado por Yance Tueros y el método de coeficientes.

Esta interfaz permite visualizar la variación temporal de la precipitación y constituye una etapa fundamental para la posterior generación de curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) y hietogramas de diseño.

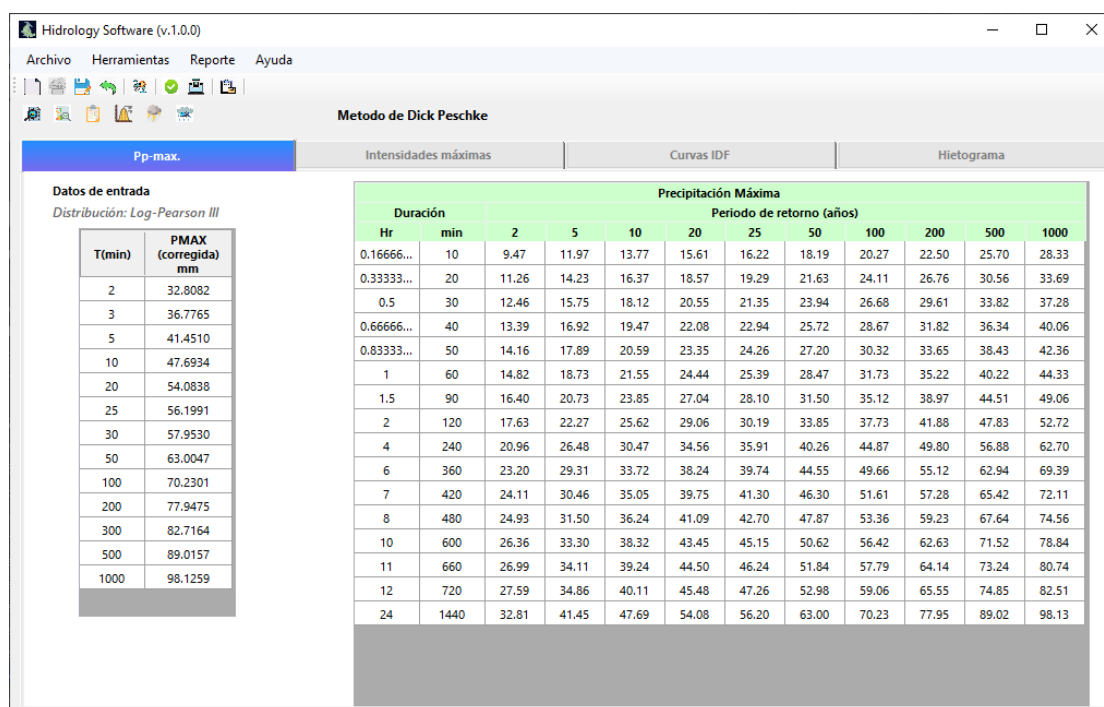
Método de Dick Peschke

La interfaz del método de Dick Peschke presenta de manera integrada los resultados obtenidos en la desagregación de la precipitación máxima en 24 horas, permitiendo su transformación en

precipitaciones de menor duración, intensidades de lluvia, curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) y hietogramas de diseño.

Figura 28

Precipitaciones estimadas mediante el método de Dick Peschke para diferentes periodos de retorno



En la Figura 28 se presentan las precipitaciones máximas estimadas para distintas duraciones y períodos de retorno, obtenidas a partir de la desagregación de la precipitación máxima en 24 horas. Estos resultados permiten observar cómo varía la magnitud de la precipitación en función del tiempo de duración del evento y su frecuencia de ocurrencia.

En la Figura 29 se muestran las intensidades de precipitación calculadas para diferentes duraciones y períodos de retorno, incluyendo la ecuación de intensidad utilizada para la parametrización. Asimismo, se presentan los indicadores de ajuste como el coeficiente de determinación (R^2) y el error cuadrático medio (RMS), los cuales permiten evaluar la precisión del modelo en la representación de los datos.

Figura 29

Intensidades obtenidas mediante el método de Dick Peschke para diferentes duraciones y periodos de retorno

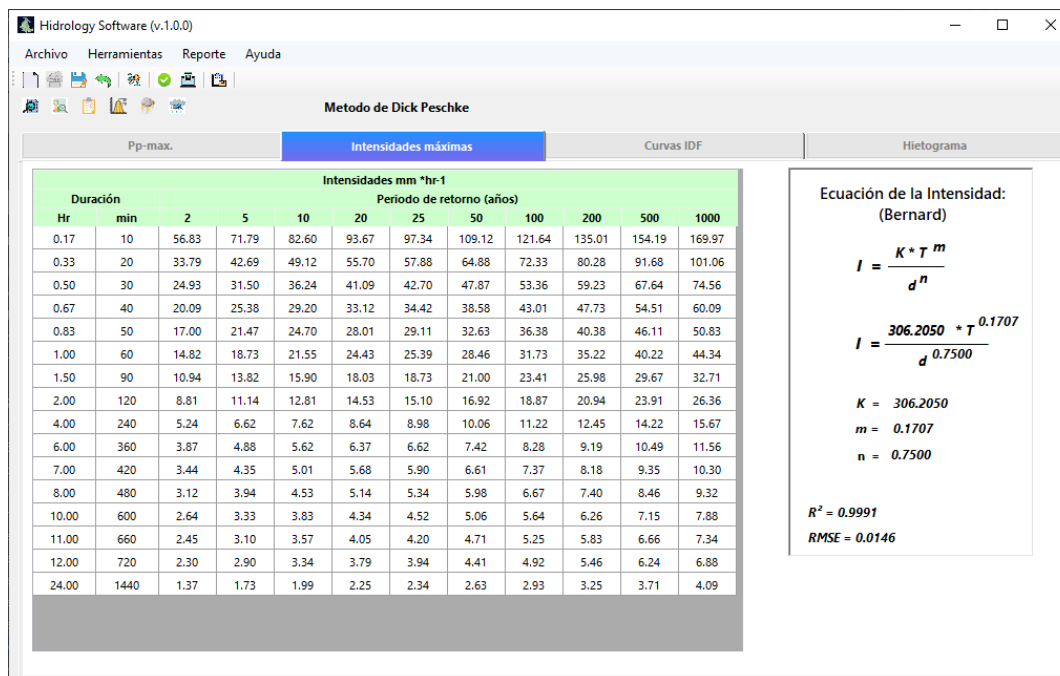
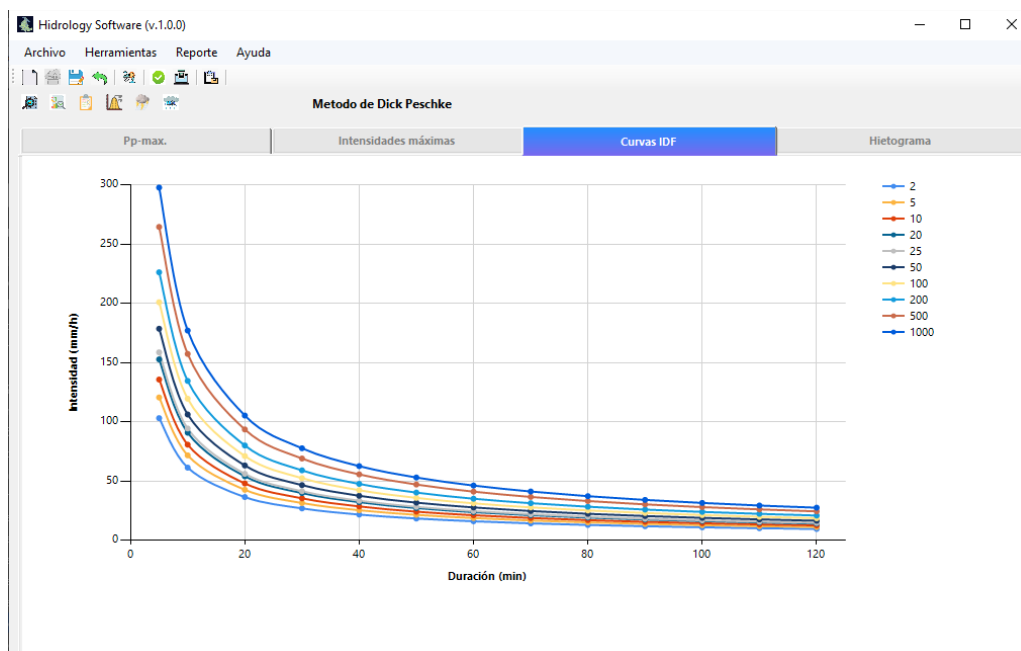


Figura 30

Ventanas de curvas IDF obtenidas mediante el método de Dick Peschke.

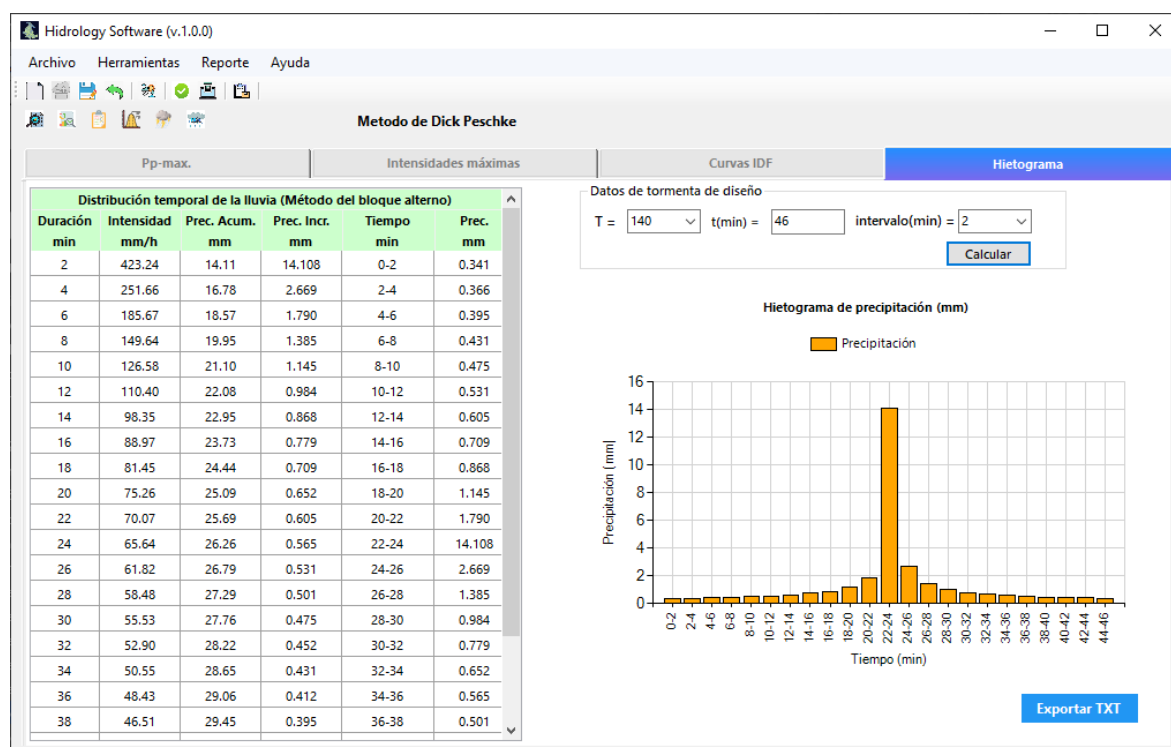


En esta figura 30 se presentan las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), las cuales muestran la relación entre la intensidad de la lluvia, la duración del evento y el período de retorno. Estas curvas permiten identificar cómo disminuye la intensidad a medida que aumenta la duración, así como comparar el comportamiento de distintos escenarios de frecuencia.

En la Figura 31 se muestra el hietograma de diseño generado mediante el método de bloques alternos, representando la distribución temporal de la precipitación durante el evento de lluvia. En esta etapa, el usuario define parámetros como la duración de la tormenta, el período de retorno y el intervalo de tiempo, los cuales influyen directamente en la forma y distribución del hietograma obtenido.

Figura 31

Interfaz del método de Dick Pescke para la obtención de hietograma de diseño mediante bloques alternos



Método de Frederick Bell adaptado por Yance Tueros

Esta interfaz permite ejecutar el método de Frederick Bell en su versión adaptada por Yance Tueros. El programa utiliza la precipitación máxima en 24 horas como dato de entrada y realiza de manera automática el cálculo de intensidades de precipitación para distintas duraciones.

Como resultado, el sistema genera las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) y el hietograma de diseño asociado al método, los cuales se presentan de forma gráfica y tabular para su análisis e interpretación.

Figura 32

Precipitaciones estimadas mediante el método de Frederich Bell adapta por Yance Tueros para diferentes periodos de retorno

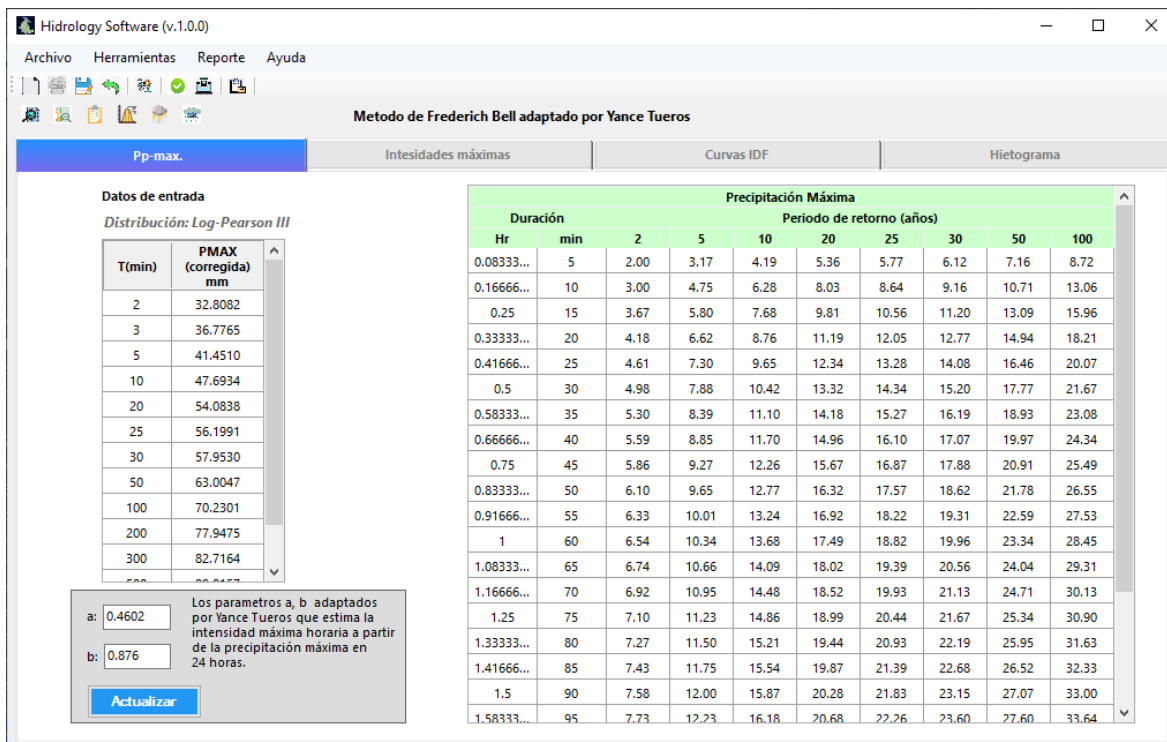


Figura 33

Intensidades obtenidas mediante el método de Frederich Bell adapta por Yance Tueros para diferentes duraciones y periodos de retorno

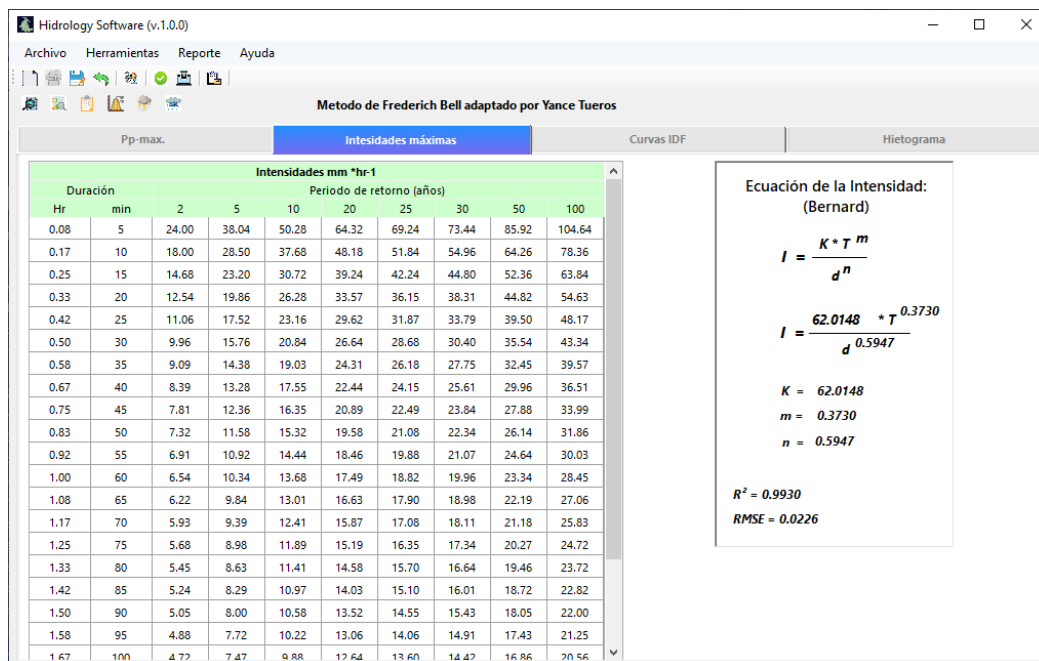


Figura 34

Ventanas de curvas IDF obtenidas mediante el método de Frederich Bell adaptada por Yance Tueros

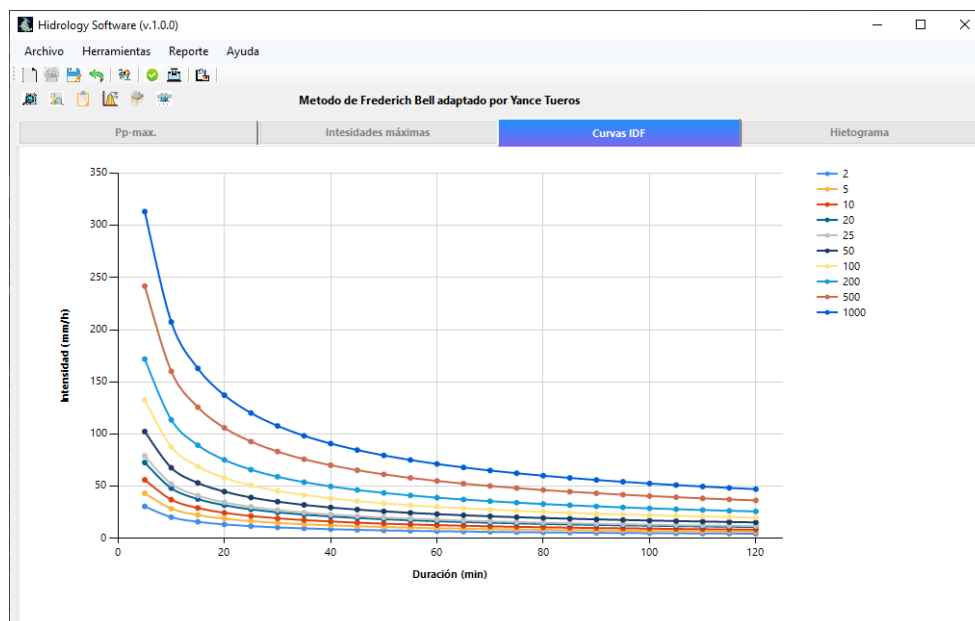
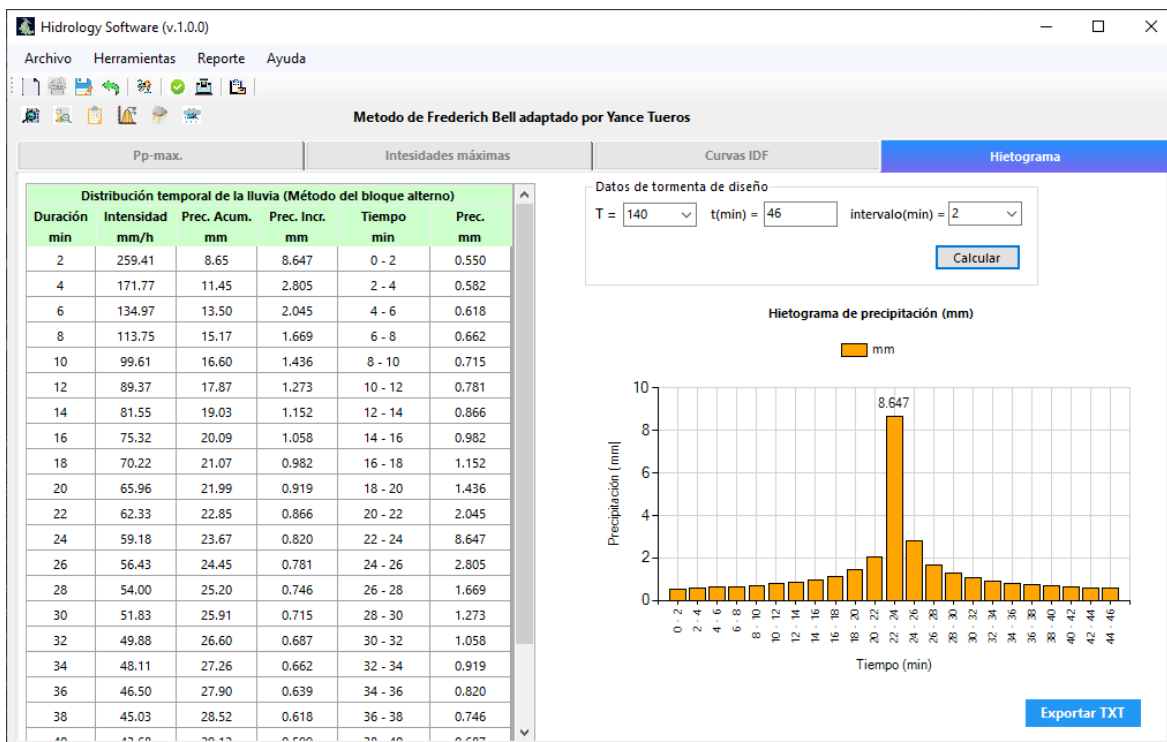


Figura 35

Interfaz del método de Frederick Bell adaptada por Yance Tueros para la obtención de hietograma de diseño mediante bloques alternos



Método de coeficientes

En el módulo correspondiente al método de Coeficientes, el programa emplea coeficientes de reducción temporal para estimar precipitaciones e intensidades asociadas a duraciones menores a 24 horas. A partir de estos cálculos, el sistema genera las intensidades de precipitación, las curvas IDF y el hietograma de diseño correspondiente.

Este módulo permite visualizar de manera clara los resultados obtenidos mediante este enfoque, facilitando su comparación con los demás métodos empíricos implementados en el programa computacional.

Figura 36

Precipitaciones estimadas mediante el método de Coeficientes para diferentes periodos de retorno

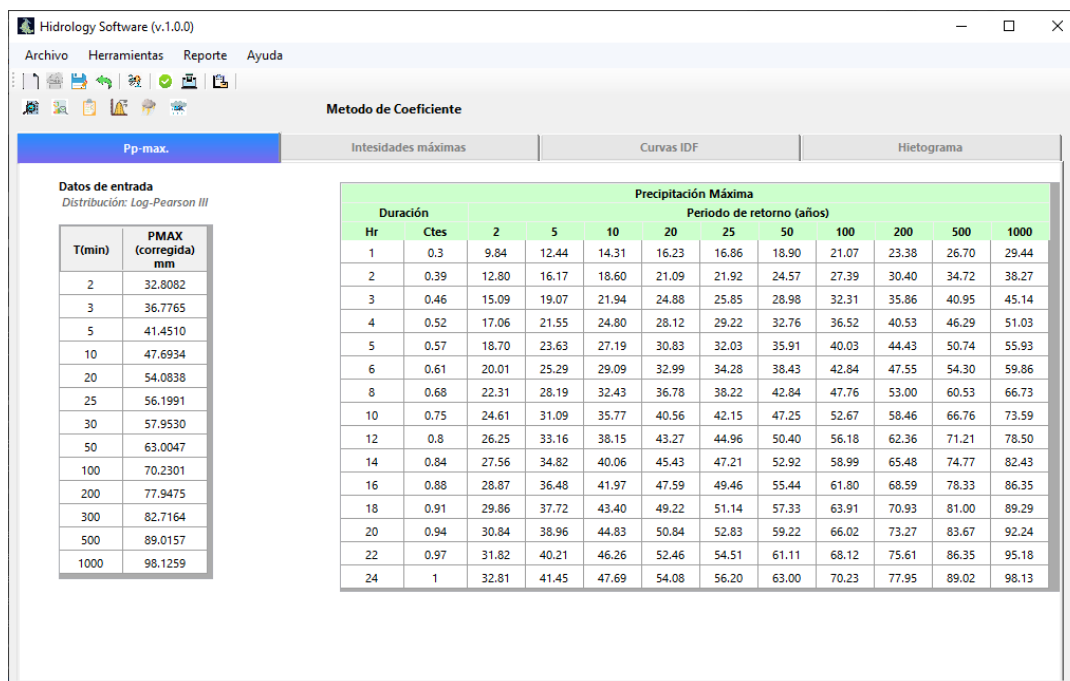


Figura 37

Intensidades obtenidas mediante el método de Coeficientes para diferentes duraciones y periodos de retorno

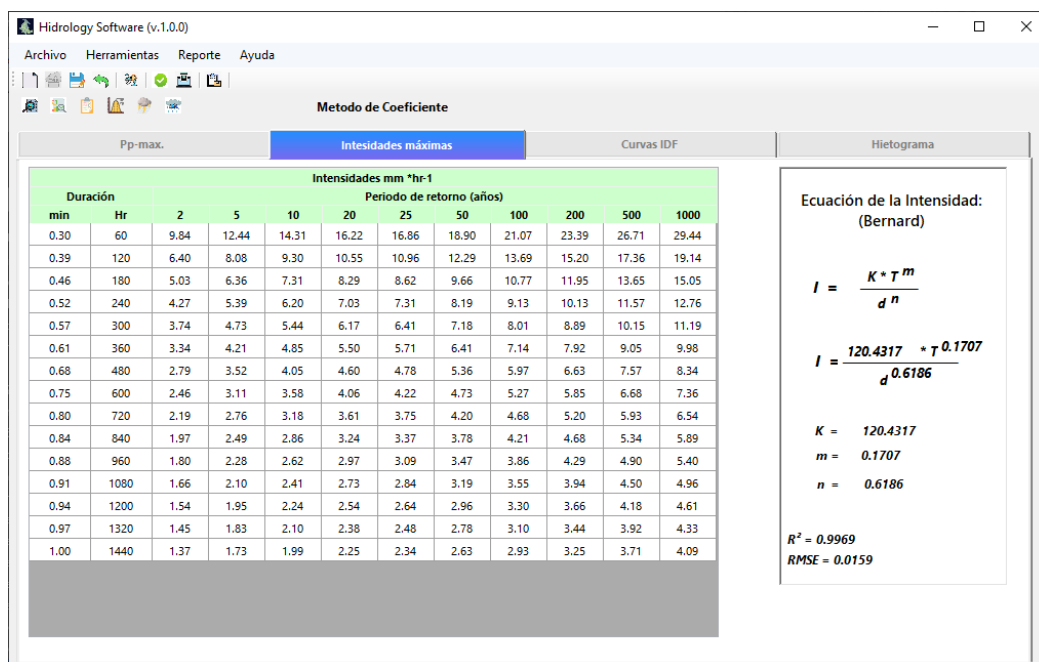


Figura 38

Ventanas de curvas IDF obtenidas mediante el método de Coeficientes

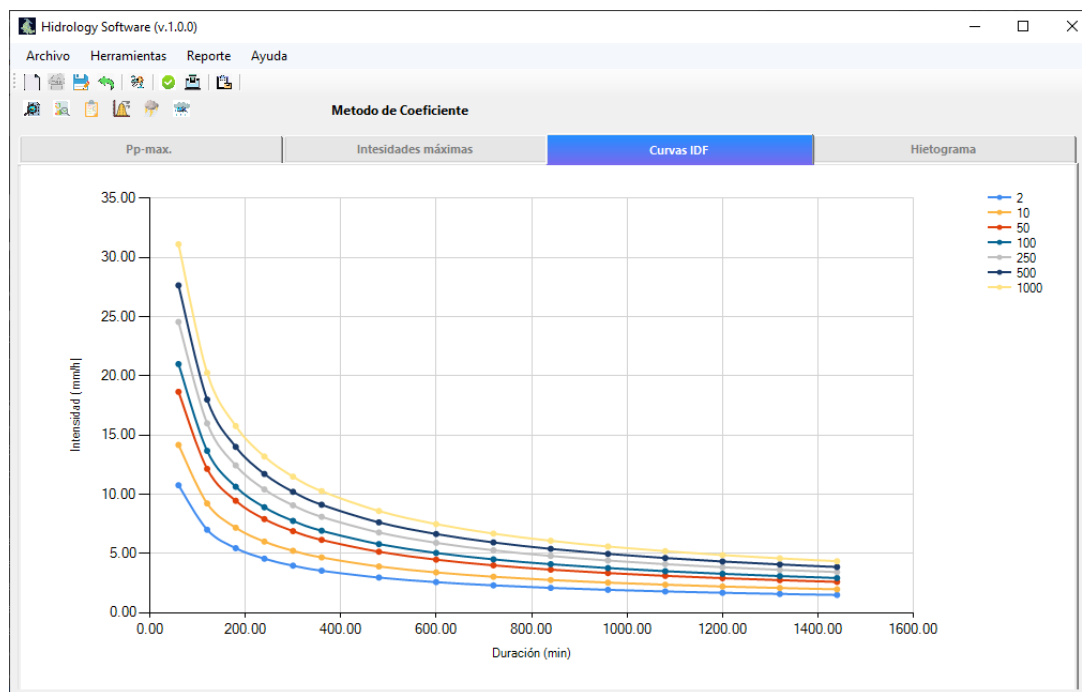
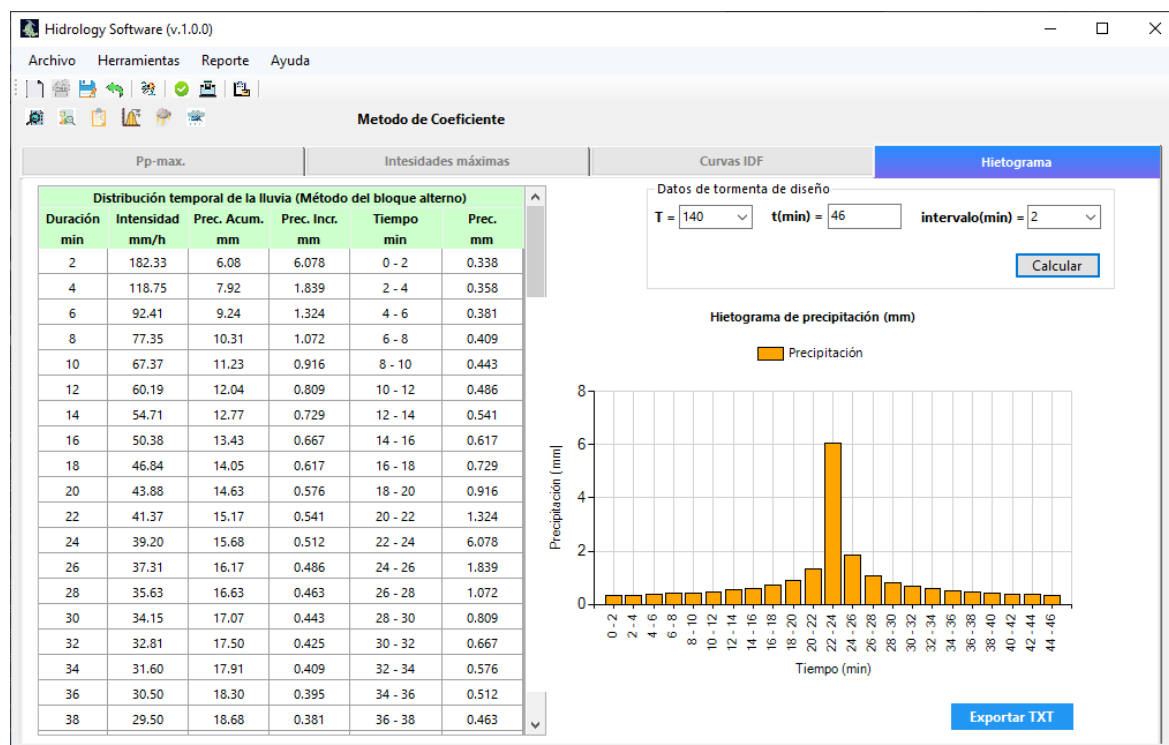


Figura 39

Interfaz del método de Coeficientes para la obtención de hietograma de diseño mediante bloques alternos



4.1.3.7. Interfaz IILA–SENAMHI–UNI

El módulo IILA–SENAMHI–UNI fue incorporado a la interfaz gráfica como una alternativa metodológica para la generación de curvas IDF e hietogramas de diseño en situaciones donde no se dispone de registros históricos de precipitación máxima en 24 horas. En esta interfaz, el usuario ingresa los parámetros requeridos por la metodología IILA–SENAMHI–UNI, tales como la región pluviométrica, la altitud del sitio y el período de retorno de interés. Con base en esta información, el programa calcula automáticamente las intensidades de precipitación para distintas duraciones, genera las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) y construye el hietograma de diseño correspondiente.

Método de IILA SENAMHI UNI

Figura 40

Interfaz del módulo del método IILA SENAMHI UNI para la estimación de intensidades

Hidrology Software (v.1.0.0)

Archivo Herramientas Reporte Ayuda

Método de IILA SENAMHI

Zona y Subzona Intensidades mm/hr Curvas IDF Hietograma

Duración de Pp
☒ t < 3h ☐ t ≥ 3h

$$i(t,T) = a(1 + K_g \text{Log} T) * (t + b)^{n-1}$$

Datos

Región: Sierra

Zona: 123

Sub zonas: 123_5

Elevación: 2542

Parametros calculados

b = 0.4 Eg = 24

K'g = 0.553 a = 9.2

Dc = 0.0 Dm = 45

n = 0.353

Los resultados obtenidos mediante este módulo se presentan de forma gráfica y numérica, permitiendo su análisis como una estimación de referencia en estudios preliminares o en zonas con información pluviométrica limitada o inexistente.

Figura 41

Intensidades obtenidas mediante el método de IILA SENAMHI UNI para diferentes duraciones y periodos de retorno

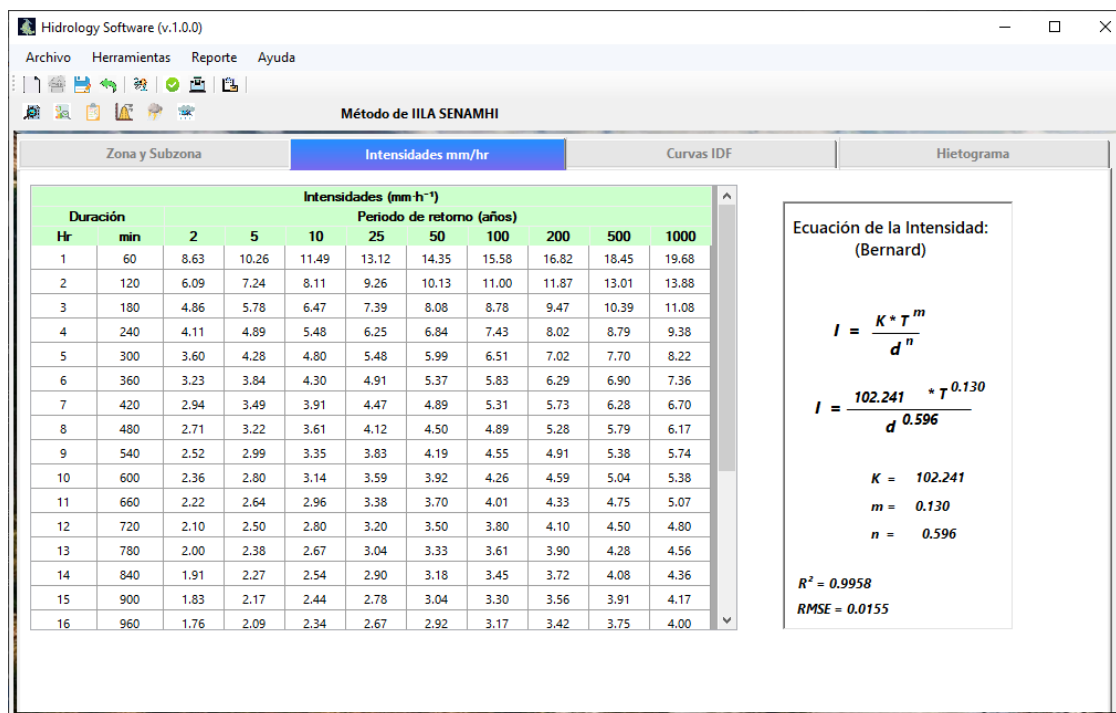


Figura 42

Ventanas de curvas IDF obtenidas mediante el método de IILA SENAMHI UNI

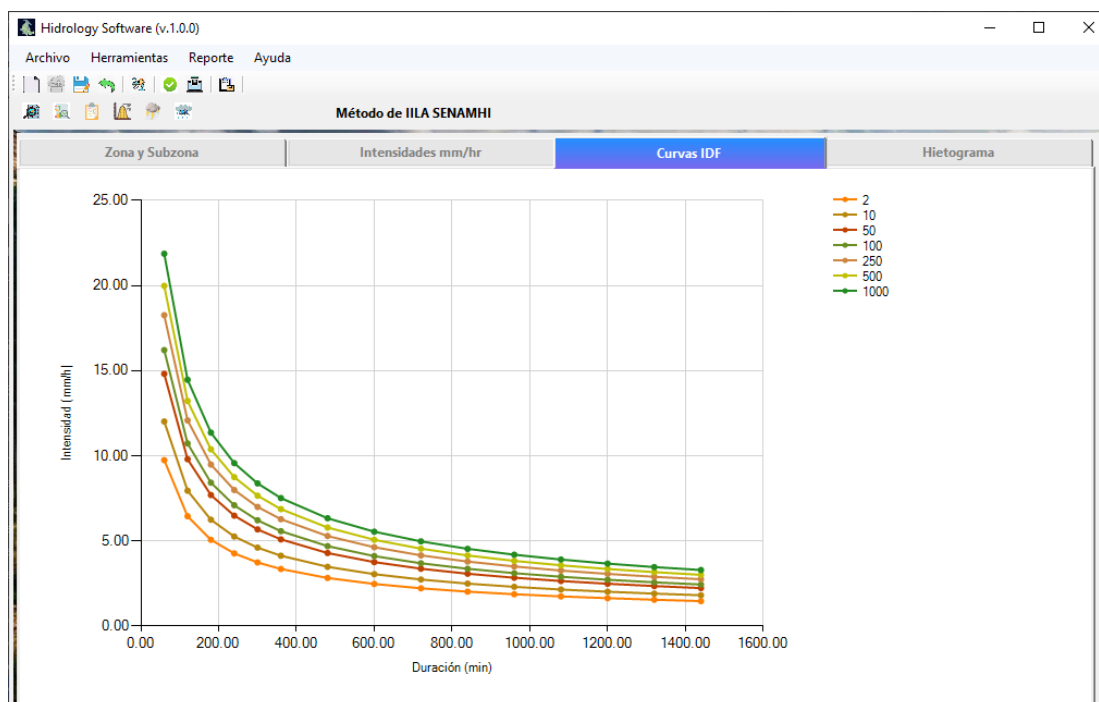
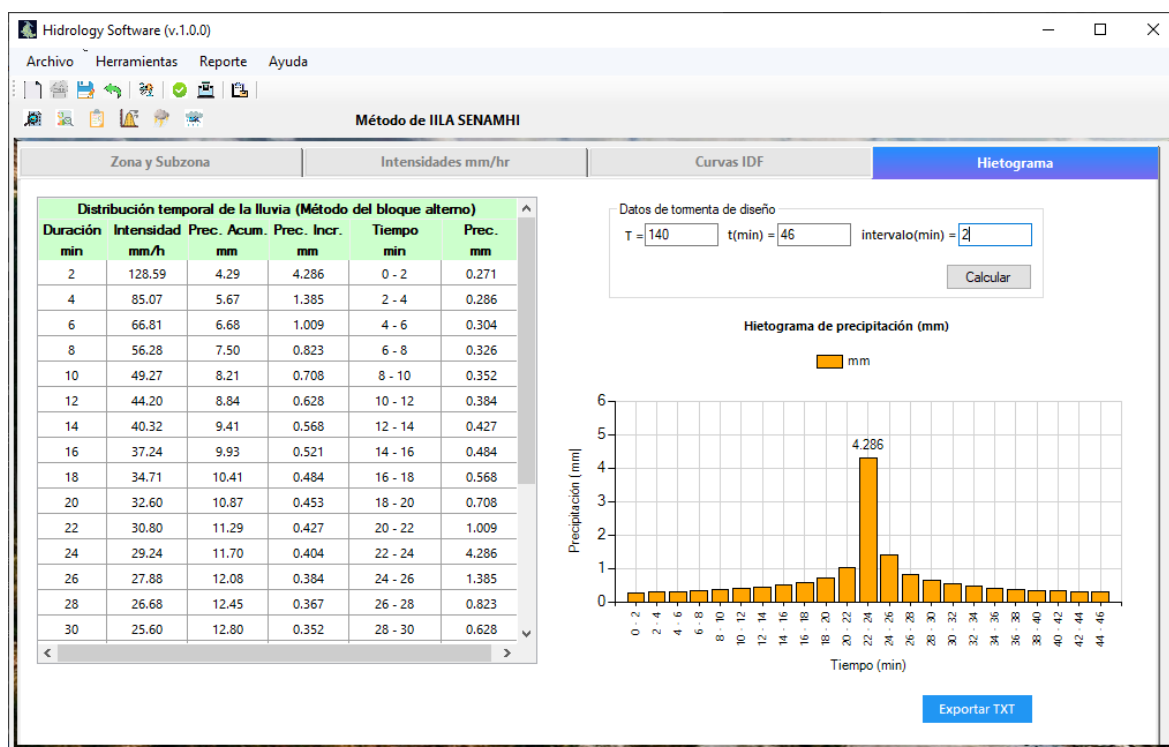


Figura 43

Interfaz del método de IILA SENAMHI UNI para la obtención de hietograma de diseño mediante bloques alternos



4.2. RESULTADOS GENERADOS POR EL PROGRAMA COMPUTACIONAL

4.2.1. Resultados numéricos obtenidos por el programa desarrollado

Los resultados numéricos obtenidos mediante el programa computacional corresponden a las salidas generadas en cada una de las etapas del modelo matemático implementado. Estos resultados abarcan el análisis estadístico de la serie de precipitación máxima en 24 horas, la identificación y evaluación de valores atípicos, el ajuste de distribuciones de probabilidad, la estimación de precipitaciones de diseño y la determinación de intensidades de precipitación para distintos períodos de retorno y duraciones. La presentación de los resultados se realiza de manera secuencial, siguiendo el flujo lógico del programa computacional, lo que permite mantener coherencia entre las etapas del proceso y facilitar la interpretación integral del análisis desarrollado.

4.2.1.1. Identificación y evaluación de valores atípicos

Como primera etapa del análisis numérico, el programa realizó la identificación de posibles valores atípicos (*outliers*) en la serie de precipitación máxima en 24 horas. Esta detección se llevó a cabo

mediante el análisis de estadísticos descriptivos y la revisión del comportamiento general de la serie, con el fin de reconocer valores que se apartaran significativamente del patrón observado.

Los valores identificados como potencialmente atípicos fueron evaluados considerando su coherencia hidrológica y su influencia en los parámetros estadísticos de la serie. En aquellos casos en que los registros correspondieron a eventos extremos plausibles dentro del régimen pluviométrico de la zona de estudio, estos fueron mantenidos en el análisis, dado que su eliminación podría conducir a una subestimación de las precipitaciones de diseño y, en consecuencia, afectar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

4.2.1.2. Resultado de análisis estadístico de la serie

Posteriormente, el programa ejecutó las pruebas estadísticas orientadas a evaluar la calidad de la serie de precipitación máxima en 24 horas. En esta etapa se analizaron los criterios de aleatoriedad, independencia, homogeneidad y tendencia, con el propósito de verificar el cumplimiento de los supuestos necesarios para el desarrollo del análisis de frecuencia.

Los resultados obtenidos incluyen los estadísticos calculados, los valores críticos correspondientes y la decisión adoptada en cada prueba. De manera general, la serie evidenció un comportamiento estadísticamente consistente, lo que permitió continuar con el proceso de ajuste de distribuciones de probabilidad y la estimación de precipitaciones de diseño.

Tabla 8

Resultado del análisis estadístico de la serie

Nº	Criterio	Prueba	Estadístico calculado	Valor crítico ($\alpha = 0.05$)	Resultado al 95 %
1	Aleatoriedad	Wald-Wolfowitz	-0.77	1.96	Se acepta
2	Independencia	Autocorrelación r_k	0.32	1.96	Se acepta
3	Homogeneidad	Mann-Whitney	-1.94	1.96	Se acepta
4	Homogeneidad	t de Student	2.5	2.06	Se rechaza
5	Análisis de tendencias	Mann-Kendall	-1.77	1.96	Se acepta

Nº	Criterio	Prueba	Estadístico calculado	Valor crítico ($\alpha = 0.05$)	Resultado al 95 %
6	Análisis de tendencias	Spearman	-2.09	2.05	Se rechaza
7	Análisis de tendencias	Regresión lineal	-1.79	1.7	Se rechaza

4.2.1.3. Ajuste de distribución de probabilidad

El programa computacional realizó el ajuste de distintas distribuciones de probabilidad a la serie de precipitación máxima en 24 horas, empleando el método de los momentos ordinarios para la estimación de sus parámetros. Este procedimiento permitió obtener los valores característicos de cada distribución y evaluar su capacidad para representar adecuadamente el comportamiento estadístico de los eventos extremos.

a) Estadísticos descriptivos de la serie

Como etapa previa al ajuste probabilístico, se calcularon los estadísticos descriptivos de la serie de precipitación máxima en 24 horas. Entre los parámetros obtenidos se incluyen el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de asimetría, tanto en escala original como en escala logarítmica, así como los valores máximos y mínimos registrados. Estos estadísticos permiten caracterizar el comportamiento general de la serie y constituyen un insumo fundamental para el ajuste de distribuciones de probabilidad.

Tabla 9

Estadísticos descriptivos de la serie de precipitación máxima en 24 horas

Parámetro	P _{máx 24} (mm)	Log(P ₂₄)
Cantidad de datos (n)	27	27
Promedio	30.9407	3.398
Mediana	29.5	3.3844
Desviación Estándar (S)	8.7521	0.259
Coeficiente de Asimetría (Cs)	1.283	0.6941

Parámetro	P _{máx 24} (mm)	Log(P ₂₄)
$k = C_s / 6$	0.2138	0.1157
Máximo	55.1	4.0091
Mínimo	20.6	3.0253
C_s – gama	0.5657	-

b) Parámetros estimados de las distribuciones

Se procedió al ajuste de las siguientes distribuciones de probabilidad: Normal, Log-Normal II, Log-Normal III, Gamma, Log-Pearson III y Gumbel (EV1). La estimación de sus parámetros se realizó mediante el método de los momentos ordinarios.

Los valores obtenidos para cada distribución se presentan en la siguiente tabla, los cuales sirven como base para la posterior evaluación de la bondad de ajuste.

Tabla 10

Parámetros estimados de las distribuciones de probabilidad.

Distribución	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3
Normal	$\mu = 30.9407$	$\sigma = 8.7521$	—
Log-Normal II	$\mu = 3.3980$	$\sigma = 0.2590$	—
Log-Normal III	$X_0 = 15.8569$	$\mu = 2.5643$	$\sigma = 0.5457$
Gamma	$\alpha = 2.4757$	$\beta = 12.4979$	—
Log-Pearson III	$\gamma = 8.3033$	$\delta = 0.0899$	$X_0 = 2.6516$
EV1 – Gumbel	$X_0 = 27.0019$	$\alpha = 6.8240$	—

c) Resultados de la prueba de bondad de ajuste

Con el fin de evaluar la calidad del ajuste de cada distribución, se aplicaron las pruebas de bondad de ajuste de Kolmogorov–Smirnov, Chi-cuadrado y Anderson–Darling, considerando un nivel de significancia del 5 %.

Los resultados obtenidos indican que la mayoría de las distribuciones presentan un ajuste aceptable bajo este criterio, con excepción de las distribuciones Normal y Log-Normal II en la prueba Chi-cuadrado. Los resultados detallados de cada prueba se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 11

Resultados de la prueba de Kolmogorov–Smirnov ($\alpha = 0.05$; $\Delta c = 0.2550$)

Ranking	Distribución	Resultado	Δ Máx
1	Log Pearson III	Se ajusta	0.0476
2	EV1 – Gumbel	Se ajusta	0.052
3	Log Normal III	Se ajusta	0.0586
4	Gamma	Se ajusta	0.0724
5	Log Normal II	Se ajusta	0.0726
6	Normal	Se ajusta	0.1083

Tabla 12

Resultados de la prueba de Chi-cuadrado ($\alpha = 0.05$)

Ranking	Distribución	X ² calc	gl	X ² crítico	p-value	Decisión
1	Log Pearson III	3.658	1	3.841	0.055792	Se ajusta
2	Log Normal III	3.738	1	3.841	0.053185	Se ajusta
3	EV1 – Gumbel	4.071	2	5.991	0.130634	Se ajusta
4	Gamma	5.601	2	5.991	0.060794	Se ajusta
—	Log Normal II	6.277	2	5.991	0.043347	Se rechaza
—	Normal	11.775	2	5.991	0.002774	Se rechaza

Tabla 13

Resultados prueba Anderson–Darling ($\alpha = 0.05$)

Ranking	Distribución	A ²	A ² c	Decisión
1	Log Pearson III	0.145	0.8388	Se ajusta
2	Log Normal III	0.1471	0.8388	Se ajusta
3	EV1 – Gumbel	0.2464	0.8388	Se ajusta
4	Log Normal II	0.3487	0.8388	Se ajusta

5	Gamma	0.4822	0.8388	Se ajusta
—	Normal	0.8595	0.8388	Se rechaza

d) Selección de la distribución con mejor ajuste

La selección de la distribución más representativa se realizó a partir de un análisis integral que consideró los resultados de las pruebas de bondad de ajuste, el ranking comparativo entre los modelos evaluados y la coherencia hidrológica de los valores estimados.

Bajo estos criterios, la distribución que evidenció el mejor desempeño global fue la Log-Pearson III, seguida por la Log-Normal III.

La distribución Log-Pearson III presentó un comportamiento consistente en las tres pruebas aplicadas y mostró una adecuada representación de la asimetría positiva característica de las series de precipitación máxima en 24 horas. Por esta razón, fue adoptada como modelo probabilístico de diseño para la estimación de las precipitaciones máximas asociadas a los distintos períodos de retorno considerados en la investigación.

Tabla 14

Distribución con mejor ajuste

Prueba	Mejor distribución
Kolmogorov–Smirnov	Log Pearson III
Chi-Cuadrado	Log Pearson III
Anderson–Darling	Log Pearson III

e) Desagregación de la precipitación máxima en 24 horas

A partir de la distribución seleccionada (Log-Pearson III), el programa computacional estimó las precipitaciones máximas en 24 horas asociadas a los períodos de retorno definidos como parámetros de entrada.

El software incorpora de manera automática el factor de corrección recomendado por el United States Bureau of Reclamation (USBR), aplicando internamente un coeficiente de 1.13 a la precipitación estimada, con el fin de obtener el valor equivalente a 24 horas continuas. En consecuencia, los valores

presentados en los resultados corresponden directamente a precipitaciones máximas en 24 horas corregidas para fines de diseño. Estos valores constituyen el insumo base para la posterior desagregación temporal mediante los métodos empíricos implementados y para la generación de intensidades de precipitación, curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) e hietogramas de diseño.

Tabla 15

Precipitación máxima en 24 h con mejor ajuste (Log Pearson III)

T (años)	Pmáx corregida (mm)
2	32.808
3	36.777
5	41.451
10	47.693
20	54.084
25	56.199
30	57.953
50	63.005
100	70.230
200	77.948
300	82.716
500	89.016
1000	98.126

4.2.1.4. Precipitaciones desagregadas para para diferentes duraciones y periodos de retorno

Una vez determinada la precipitación máxima en 24 horas adoptada para diseño y corregida internamente conforme al criterio del USBR, el programa computacional procedió a la desagregación temporal de dicha lámina diaria mediante los métodos hidrológicos empíricos implementados.

Este proceso permitió estimar la precipitación acumulada correspondiente a distintas duraciones y períodos de retorno, manteniendo coherencia con los supuestos propios de cada formulación empírica. Los valores obtenidos representan la distribución temporal de la lámina de lluvia dentro del intervalo de 24 horas y constituyen la base para el cálculo posterior de intensidades de precipitación y la generación de curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF).

a) Precipitaciones desagregadas mediante el modelo de Dick Peschke

El método de Dick Peschke permitió estimar las precipitaciones acumuladas para diferentes duraciones, partiendo de la precipitación máxima en 24 horas adoptada para diseño. Los resultados muestran un incremento progresivo de la lámina acumulada conforme aumenta la duración del evento, así como un aumento asociado al período de retorno considerado.

Tabla 16

Precipitaciones desagregadas (mm) mediante el método de Dick Peschke

Duración		Periodo de retorno									
(hr)	(min)	2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000
0.17	10	9.47	11.97	13.77	15.61	16.22	18.19	20.27	22.5	25.7	28.33
0.33	20	11.26	14.23	16.37	18.57	19.29	21.63	24.11	26.76	30.56	33.69
0.50	30	12.46	15.75	18.12	20.55	21.35	23.94	26.68	29.61	33.82	37.28
0.67	40	13.39	16.92	19.47	22.08	22.94	25.72	28.67	31.82	36.34	40.06
0.83	50	14.16	17.89	20.59	23.35	24.26	27.2	30.32	33.65	38.43	42.36
1.00	60	14.82	18.73	21.55	24.44	25.39	28.47	31.73	35.22	40.22	44.33
1.50	90	16.4	20.73	23.85	27.04	28.1	31.5	35.12	38.97	44.51	49.06
2.00	120	17.63	22.27	25.62	29.06	30.19	33.85	37.73	41.88	47.83	52.72
4.00	240	20.96	26.48	30.47	34.56	35.91	40.26	44.87	49.8	56.88	62.7
6.00	360	23.2	29.31	33.72	38.24	39.74	44.55	49.66	55.12	62.94	69.39
7.00	420	24.11	30.46	35.05	39.75	41.3	46.3	51.61	57.28	65.42	72.11
8.00	480	24.93	31.5	36.24	41.09	42.7	47.87	53.36	59.23	67.64	74.56
10.00	600	26.36	33.3	38.32	43.45	45.15	50.62	56.42	62.63	71.52	78.84
11.00	660	26.99	34.11	39.24	44.5	46.24	51.84	57.79	64.14	73.24	80.74
12.00	720	27.59	34.86	40.11	45.48	47.26	52.98	59.06	65.55	74.85	82.51
24.00	1440	32.81	41.45	47.69	54.08	56.2	63	70.23	77.95	89.02	98.13

b) Precipitaciones desagregadas mediante el modelo de coeficientes

Mediante la aplicación de coeficientes de reducción temporal a la precipitación máxima diaria adoptada para diseño, el programa estimó las precipitaciones acumuladas correspondientes a duraciones menores a 24 horas. Los valores obtenidos muestran coherencia con la dinámica de tormentas intensas y mantienen consistencia con los períodos de retorno evaluados.

Tabla 17

Precipitaciones desagregadas (mm) mediante el método de Coeficientes

Duración	Periodo de retorno
-----------------	---------------------------

(hr)	(min)	2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000
1	0.3	9.78	12.35	14.24	16.18	16.82	18.88	21.05	23.33	26.56	29.15
2	0.39	12.71	16.05	18.51	21.04	21.87	24.55	27.36	30.34	34.52	37.9
3	0.46	15	18.93	21.83	24.81	25.8	28.95	32.28	35.78	40.72	44.7
4	0.52	16.95	21.4	24.68	28.05	29.16	32.73	36.49	40.45	46.03	50.53
5	0.57	18.58	23.46	27.05	30.75	31.97	35.88	39.99	44.34	50.46	55.39
6	0.61	19.89	25.11	28.95	32.9	34.21	38.4	42.8	47.45	54	59.28
8	0.68	22.17	27.99	32.27	36.68	38.13	42.8	47.71	52.89	60.19	66.08
10	0.75	24.45	30.87	35.6	40.45	42.06	47.21	52.62	58.34	66.39	72.89
12	0.8	26.08	32.93	37.97	43.15	44.86	50.35	56.13	62.23	70.82	77.75
14	0.84	27.38	34.57	39.87	45.31	47.11	52.87	58.94	65.34	74.36	81.63
16	0.88	28.69	36.22	41.77	47.47	49.35	55.39	61.74	68.45	77.9	85.52
18	0.91	29.67	37.45	43.19	49.08	51.03	57.28	63.85	70.78	80.55	88.44
20	0.94	30.64	38.69	44.61	50.7	52.72	59.17	65.95	73.12	83.21	91.35
22	0.97	31.62	39.92	46.04	52.32	54.4	61.05	68.06	75.45	85.87	94.27
24	1	32.6	41.16	47.46	53.94	56.08	62.94	70.16	77.78	88.52	97.18

c) Precipitaciones desagregadas mediante el modelo de Frederick Bell adaptado por Yance Tueros

Aplicando el método de Frederick Bell en su versión adaptada por Yance Tueros, se obtuvieron valores de precipitación acumulada para las mismas duraciones y períodos de retorno definidos en el análisis. Los resultados evidencian un comportamiento hidrológicamente consistente, manteniendo la proporcionalidad entre la duración del evento y la lámina acumulada correspondiente.

Tabla 18

Precipitaciones desagregadas (mm) mediante el método de Frederick Bell adaptado por Yance Tueros

Duración		Periodo de retorno							
(hr)	(min)	2	5	10	20	25	30	50	100
0.08	5	1.99	3.15	4.18	5.35	5.76	6.11	7.15	8.72
0.17	10	2.98	4.72	6.25	8.01	8.62	9.14	10.7	13.05
0.25	15	3.65	5.77	7.64	9.79	10.54	11.18	13.08	15.95
0.33	20	4.16	6.58	8.72	11.17	12.03	12.75	14.93	18.2
0.42	25	4.59	7.25	9.61	12.31	13.25	14.06	16.45	20.05
0.50	30	4.95	7.83	10.37	13.29	14.31	15.17	17.76	21.65
0.58	35	5.27	8.34	11.05	14.15	15.24	16.16	18.91	23.06
0.67	40	5.56	8.79	11.65	14.93	16.07	17.05	19.95	24.32

0.75	45	5.82	9.21	12.2	15.63	16.83	17.85	20.89	25.47
0.83	50	6.07	9.59	12.71	16.28	17.53	18.6	21.76	26.53
0.92	55	6.29	9.95	13.18	16.88	18.18	19.28	22.57	27.51
1.00	60	6.5	10.28	13.62	17.45	18.79	19.93	23.32	28.43
1.08	65	6.7	10.59	14.03	17.98	19.36	20.53	24.02	29.29
1.17	70	6.88	10.88	14.42	18.47	19.89	21.1	24.69	30.1
1.25	75	7.06	11.16	14.79	18.95	20.4	21.64	25.32	30.87
1.33	80	7.23	11.43	15.14	19.4	20.89	22.15	25.92	31.6
1.42	85	7.39	11.68	15.48	19.83	21.35	22.64	26.5	32.3
1.50	90	7.54	11.92	15.8	20.24	21.79	23.11	27.05	32.97
1.58	95	7.69	12.15	16.11	20.63	22.22	23.56	27.57	33.61
1.67	100	7.83	12.38	16.4	21.01	22.62	23.99	28.08	34.23
1.75	105	7.96	12.59	16.69	21.37	23.02	24.41	28.56	34.82
1.83	110	8.09	12.8	16.96	21.72	23.39	24.81	29.03	35.4
1.92	115	8.22	13	17.23	22.06	23.76	25.2	29.49	35.95
2.00	120	8.34	13.19	17.48	22.39	24.12	25.58	29.93	36.49

4.2.1.5. Intensidades obtenidas para diferentes modelos

A partir de las precipitaciones desagregadas determinadas en la sección anterior, el programa computacional calculó las intensidades de precipitación correspondientes a las distintas duraciones y períodos de retorno definidos como parámetros de entrada.

Las intensidades obtenidas constituyen el insumo fundamental para la generación de las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) y los hietogramas de diseño, y fueron calculadas de forma automática para cada uno de los métodos hidrológicos implementados en el programa.

a) Intensidades obtenidas mediante el modelo de Dick Peschke

Tabla 19

Intensidades (mm/h) obtenidas mediante el método de Dick Peschke

Duración		Periodo de retorno									
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000
0.17	10	56.46	71.29	82.2	93.43	97.13	109.02	121.52	134.72	153.32	168.32
0.33	20	33.57	42.39	48.88	55.55	57.76	64.82	72.26	80.1	91.17	100.08
0.5	30	24.77	31.27	36.06	40.99	42.61	47.82	53.31	59.1	67.26	73.84
0.67	40	19.96	25.21	29.06	33.03	34.34	38.54	42.96	47.63	54.21	59.51
0.83	50	16.89	21.32	24.58	27.94	29.05	32.6	36.34	40.29	45.85	50.34

1	60	14.73	18.6	21.44	24.37	25.34	28.44	31.7	35.14	39.99	43.91
1.5	90	10.87	13.72	15.82	17.98	18.69	20.98	23.39	25.93	29.51	32.39
2	120	8.76	11.06	12.75	14.49	15.07	16.91	18.85	20.9	23.78	26.11
4	240	5.21	6.57	7.58	8.62	8.96	10.05	11.21	12.42	14.14	15.52
6	360	3.84	4.85	5.59	6.36	6.61	7.42	8.27	9.17	10.43	11.45
7	420	3.42	4.32	4.98	5.66	5.89	6.61	7.37	8.17	9.29	10.2
8	480	3.1	3.91	4.51	5.12	5.33	5.98	6.66	7.39	8.41	9.23
10	600	2.62	3.31	3.81	4.33	4.51	5.06	5.64	6.25	7.11	7.81
11	660	2.44	3.08	3.55	4.03	4.19	4.71	5.25	5.82	6.62	7.27
12	720	2.28	2.88	3.33	3.78	3.93	4.41	4.92	5.45	6.2	6.81
24	1440	1.36	1.72	1.98	2.25	2.34	2.62	2.92	3.24	3.69	4.05

b) Intensidades obtenidas mediante el modelo de coeficientes

El método de Coeficientes permitió estimar intensidades de precipitación para las distintas duraciones y períodos de retorno considerados en el estudio. Los resultados obtenidos mantienen coherencia hidrológica, mostrando intensidades mayores para duraciones cortas y para eventos asociados a períodos de retorno elevados.

Las variaciones observadas respecto a los demás métodos están relacionadas con los coeficientes de reducción temporal empleados en su formulación.

Tabla 20

Intensidades (mm/h) obtenidas mediante el método de Coeficientes

Duración		Periodo de retorno									
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000
0.3	60	9.78	12.35	14.24	16.18	16.82	18.88	21.05	23.33	26.56	29.15
0.39	120	6.36	8.03	9.25	10.52	10.94	12.27	13.68	15.17	17.26	18.95
0.46	180	5	6.31	7.28	8.27	8.6	9.65	10.76	11.93	13.57	14.9
0.52	240	4.24	5.35	6.17	7.01	7.29	8.18	9.12	10.11	11.51	12.63
0.57	300	3.72	4.69	5.41	6.15	6.39	7.18	8	8.87	10.09	11.08
0.61	360	3.31	4.18	4.83	5.48	5.7	6.4	7.13	7.91	9	9.88
0.68	480	2.77	3.5	4.03	4.58	4.77	5.35	5.96	6.61	7.52	8.26
0.75	600	2.45	3.09	3.56	4.05	4.21	4.72	5.26	5.83	6.64	7.29
0.8	720	2.17	2.74	3.16	3.6	3.74	4.2	4.68	5.19	5.9	6.48
0.84	840	1.96	2.47	2.85	3.24	3.36	3.78	4.21	4.67	5.31	5.83
0.88	960	1.79	2.26	2.61	2.97	3.08	3.46	3.86	4.28	4.87	5.34
0.91	1080	1.65	2.08	2.4	2.73	2.84	3.18	3.55	3.93	4.48	4.91

0.94	1200	1.53	1.93	2.23	2.54	2.64	2.96	3.3	3.66	4.16	4.57
0.97	1320	1.44	1.81	2.09	2.38	2.47	2.78	3.09	3.43	3.9	4.28
1.00	1440	1.36	1.72	1.98	2.25	2.34	2.62	2.92	3.24	3.69	4.05

c) Intensidades obtenidas mediante el modelo de Frederick Bell adaptado por Yance Tueros

Las intensidades determinadas con el método de Frederick Bell, en su versión adaptada por Yance Tueros, muestran una tendencia consistente con el análisis de tormentas intensas. Se evidencia la reducción de la intensidad al incrementarse la duración del evento y el aumento progresivo para períodos de retorno mayores.

Las diferencias cuantitativas observadas respecto al método de Dick Peschke se atribuyen a los supuestos empíricos propios de cada formulación.

Tabla 21

Intensidades (mm/h) obtenidas mediante el método de Frederick Bell adaptado por Yance Tueros

Duración		Periodo de retorno							
Hr	(min)	2	5	10	20	25	30	50	100
0.08	5	23.88	37.8	50.16	64.2	69.12	73.32	85.8	104.64
0.17	10	17.88	28.32	37.5	48.06	51.72	54.84	64.2	78.3
0.25	15	14.6	23.08	30.56	39.16	42.16	44.72	52.32	63.8
0.33	20	12.48	19.74	26.16	33.51	36.09	38.25	44.79	54.6
0.42	25	11.02	17.4	23.06	29.54	31.8	33.74	39.48	48.12
0.5	30	9.9	15.66	20.74	26.58	28.62	30.34	35.52	43.3
0.58	35	9.03	14.3	18.94	24.26	26.13	27.7	32.42	39.53
0.67	40	8.34	13.19	17.48	22.4	24.11	25.58	29.93	36.48
0.75	45	7.76	12.28	16.27	20.84	22.44	23.8	27.85	33.96
0.83	50	7.28	11.51	15.25	19.54	21.04	22.32	26.11	31.84
0.92	55	6.86	10.85	14.38	18.41	19.83	21.03	24.62	30.01
1	60	6.5	10.28	13.62	17.45	18.79	19.93	23.32	28.43
1.08	65	6.18	9.78	12.95	16.6	17.87	18.95	22.17	27.04
1.17	70	5.9	9.33	12.36	15.83	17.05	18.09	21.16	25.8
1.25	75	5.65	8.93	11.83	15.16	16.32	17.31	20.26	24.7
1.33	80	5.42	8.57	11.36	14.55	15.67	16.61	19.44	23.7
1.42	85	5.22	8.24	10.93	14	15.07	15.98	18.71	22.8
1.5	90	5.03	7.95	10.53	13.49	14.53	15.41	18.03	21.98

1.58	95	4.86	7.67	10.17	13.03	14.03	14.88	17.41	21.23
1.67	100	4.7	7.43	9.84	12.61	13.57	14.39	16.85	20.54
1.75	105	4.55	7.19	9.54	12.21	13.15	13.95	16.32	19.9
1.83	110	4.41	6.98	9.25	11.85	12.76	13.53	15.83	19.31
1.92	115	4.29	6.78	8.99	11.51	12.4	13.15	15.39	18.76
2	120	4.17	6.6	8.74	11.2	12.06	12.79	14.97	18.25

d) Intensidades obtenidas mediante el modelo IILA SENAMHI UNI

En el caso del método IILA–SENAMHI, las intensidades fueron obtenidas directamente a partir de las expresiones regionales incorporadas en el programa, utilizando los parámetros geográficos ingresados por el usuario.

Los resultados permiten generar curvas IDF sin requerir análisis estadístico previo, constituyendo una alternativa metodológica válida en zonas con información pluviométrica limitada o inexistente.

Tabla 22

Intensidades (mm/h) obtenidas mediante el método IILA–SENAMHI–UNI

Duración		Periodo de retorno								
Hr	min	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
1	60	10.94	13	14.56	16.62	18.19	19.75	21.31	23.37	24.93
2	120	7.27	8.64	9.68	11.05	12.09	13.12	14.16	15.53	16.57
3	180	5.58	6.64	7.43	8.48	9.28	10.08	10.87	11.93	12.72
4	240	4.59	5.46	6.11	6.98	7.63	8.29	8.94	9.81	10.47
5	300	3.93	4.67	5.23	5.98	6.54	7.1	7.66	8.4	8.96
6	360	3.46	4.11	4.6	5.25	5.75	6.24	6.73	7.38	7.88
7	420	3.1	3.68	4.12	4.71	5.15	5.59	6.03	6.62	7.06
8	480	2.81	3.34	3.74	4.27	4.68	5.08	5.48	6.01	6.41
9	540	2.58	3.07	3.44	3.93	4.29	4.66	5.03	5.52	5.89
10	600	2.39	2.84	3.18	3.64	3.98	4.32	4.66	5.11	5.45
11	660	2.23	2.65	2.97	3.39	3.71	4.03	4.35	4.77	5.09
12	720	2.09	2.49	2.79	3.18	3.48	3.78	4.08	4.47	4.77
13	780	1.97	2.35	2.63	3	3.28	3.56	3.85	4.22	4.5
14	840	1.87	2.22	2.49	2.84	3.11	3.37	3.64	3.99	4.26
15	900	1.78	2.11	2.36	2.7	2.95	3.21	3.46	3.8	4.05
16	960	1.69	2.01	2.25	2.57	2.82	3.06	3.3	3.62	3.86
17	1020	1.62	1.92	2.16	2.46	2.69	2.92	3.15	3.46	3.69
18	1080	1.55	1.84	2.07	2.36	2.58	2.8	3.02	3.32	3.54

19	1140	1.49	1.77	1.99	2.27	2.48	2.69	2.9	3.19	3.4
20	1200	1.44	1.71	1.91	2.18	2.39	2.59	2.8	3.07	3.27
21	1260	1.38	1.65	1.84	2.1	2.3	2.5	2.7	2.96	3.16
22	1320	1.34	1.59	1.78	2.03	2.22	2.41	2.6	2.86	3.05
23	1380	1.29	1.54	1.72	1.97	2.15	2.34	2.52	2.76	2.95
24	1440	1.25	1.49	1.67	1.9	2.08	2.26	2.44	2.68	2.86

4.2.1.6. Resultados de la ecuación IDF parametrizada

A partir de las intensidades obtenidas para cada método de desagregación, el programa computacional procedió al ajuste de la ecuación Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en la forma funcional adoptada en la investigación, lo que permitió obtener una expresión analítica continua para cada período de retorno considerado.

Este proceso de parametrización hizo posible determinar los coeficientes de ajuste correspondientes a cada método, garantizando una representación matemática consistente de las curvas IDF generadas. De esta manera, las relaciones intensidad–duración dejaron de depender exclusivamente de valores discretos y pudieron expresarse mediante funciones continuas aptas para su aplicación en cálculos de diseño hidrológico.

a) Parámetros obtenidos mediante el modelo de Dick Peschke

Tabla 23

Parámetros de la Ecuación IDF - modelo de Dick Peschke

Parámetro	Valor
K	304.789
m	0.171
n	0.750

b) Parámetros obtenidos mediante el modelo de Coeficientes

Tabla 24

Parámetros de la Ecuación IDF - modelo de coeficientes

Parámetro	Valor
K	119.950
m	0.171
n	0.619

c) Parámetros obtenidos mediante el modelo de Frederick Bell adaptado por Yance Tueros

Tabla 25

Parámetros de la Ecuación IDF - modelo de Frederick Bell adaptado por Yance Tueros

Parámetro	Valor
K	61.518
m	0.375
n	0.595

d) Parámetros obtenidos mediante el modelo de IILA SENAMHI UNI

Tabla 26

Parámetros de la Ecuación IDF - modelo de IILA SENAMHI UNI

Parámetro	Valor
K	199.067
m	0.130
n	0.699

4.2.1.7. Resultados del hietograma de diseño

A partir de las intensidades obtenidas para cada método de desagregación y considerando la duración total del evento definida por el usuario, el programa computacional generó los valores numéricos correspondientes al hietograma de diseño.

El hietograma representa la distribución temporal de la intensidad de precipitación dentro del evento, expresada en intervalos discretos de tiempo previamente establecidos. Los valores calculados permiten cuantificar la variación de la intensidad en cada intervalo, constituyendo la base para su posterior representación gráfica y para el análisis del comportamiento temporal de la tormenta de diseño.

Con fines comparativos, se presentan resultados correspondientes a duraciones representativas de 45, 60 y 75 minutos, seleccionadas como casos de estudio dentro de la investigación.

a) Método de Dick Peschke.

Tabla 27

Hietograma de diseño - Dick Peschke; para $T = 140$ años, $t = 46\text{min}$ e $i = 2\text{min}$.

Intervalo (min)	Precipitación incremental (mm)
0 - 2	0.340
2 - 4	0.365
4 - 6	0.394
6 - 8	0.430
8 - 10	0.473
10 - 12	0.529
12 - 14	0.603
14 - 16	0.707
16 - 18	0.865
18 - 20	1.141
20 - 22	1.784
22 - 24	14.064
24 - 26	2.661
26 - 28	1.380
28 - 30	0.981
30 - 32	0.777
32 - 34	0.650
34 - 36	0.563
36 - 38	0.499
38 - 40	0.450
40 - 42	0.411
42 - 44	0.379
44 - 46	0.352

Tabla 28

Hietograma de diseño – Dick Peschke; para $T = 140$ años, $t = 60\text{min}$ e $i = 3\text{min}$

Intervalo (min)	Precipitación incremental (mm)
0 - 3	0.419
3 - 6	0.455
6 - 9	0.498
9 - 12	0.553
12 - 15	0.623
15 - 18	0.719
18 - 21	0.859

Intervalo (min)	Precipitación incremental (mm)
21 - 24	1.085
24 - 27	1.527
27 - 30	2.945
30 - 33	15.564
33 - 36	1.975
36 - 39	1.263
39 - 42	0.957
42 - 45	0.782
45 - 48	0.667
48 - 51	0.585
51 - 54	0.524
54 - 57	0.475
57 - 60	0.436

Tabla 29

Hietograma de diseño - Dick Peschke; para $T = 140$ años, $t = 75\text{min}$ e $i=3\text{min}$

Intervalo (min)	Precipitación incremental (mm)
0 - 3	0.353
3 - 6	0.377
6 - 9	0.404
9 - 12	0.436
12 - 15	0.475
15 - 18	0.524
18 - 21	0.585
21 - 24	0.667
24 - 27	0.782
27 - 30	0.957
30 - 33	1.263
33 - 36	1.975
36 - 39	15.564
39 - 42	2.945
42 - 45	1.527
45 - 48	1.085
48 - 51	0.859
51 - 54	0.719
54 - 57	0.623
57 - 60	0.553
60 - 63	0.498

Intervalo (min)	Precipitación incremental (mm)
63 - 66	0.455
66 - 69	0.419
69 - 72	0.390
72 - 75	0.365

b) Método de Coeficientes

Tabla 30

Hietograma de diseño – Coeficientes; para $T = 140$ años, $t = 46\text{min}$ e $i = 2\text{min}$

Intervalo (min)	Precipitación incremental (mm)
0 - 2	0.336
2 - 4	0.356
4 - 6	0.379
6 - 8	0.407
8 - 10	0.441
10 - 12	0.484
12 - 14	0.539
14 - 16	0.614
16 - 18	0.726
18 - 20	0.912
20 - 22	1.318
22 - 24	6.061
24 - 26	1.832
26 - 28	1.067
28 - 30	0.805
30 - 32	0.664
32 - 34	0.573
34 - 36	0.509
36 - 38	0.461
38 - 40	0.423
40 - 42	0.393
42 - 44	0.367
44 - 46	0.346

Tabla 31

Hietograma de diseño – Coeficientes; para $T = 140$ años, $t = 60\text{min}$ e $i = 3\text{min}$

Intervalo (min)	Precipitación incremental (mm)
0 - 3	0.429
3 - 6	0.458
6 - 9	0.494
9 - 12	0.538
12 - 15	0.594
15 - 18	0.669
18 - 21	0.775
21 - 24	0.939
24 - 27	1.245
27 - 30	2.138
30 - 33	7.073
33 - 36	1.539
36 - 39	1.064
39 - 42	0.847
42 - 45	0.717
45 - 48	0.629
48 - 51	0.565
51 - 54	0.515
54 - 57	0.475
57 - 60	0.443

Tabla 32

Hietograma de diseño – Coeficientes; para $T = 140$ años, $t = 75\text{min}$ e $i = 3\text{min}$

Intervalo (min)	Precipitación incremental (mm)
0 - 3	0.372
3 - 6	0.392
6 - 9	0.416
9 - 12	0.443
12 - 15	0.475
15 - 18	0.515
18 - 21	0.565
21 - 24	0.629
24 - 27	0.717
27 - 30	0.847
30 - 33	1.064

Intervalo (min)	Precipitación incremental (mm)
33 - 36	1.539
36 - 39	7.073
39 - 42	2.138
42 - 45	1.245
45 - 48	0.939
48 - 51	0.775
51 - 54	0.669
54 - 57	0.594
57 - 60	0.538
60 - 63	0.494
63 - 66	0.458
66 - 69	0.429
69 - 72	0.403
72 - 75	0.382

c) Método de Frederick Bell adaptado por Yance Tueros.

Tabla 33

Hietograma de diseño – F. Bell adaptado por Y. Tueros; para $T = 140$ años, $t = 46\text{min}$ e $i = 2\text{min}$

Intervalo (min)	Precipitación incremental (mm)
0 - 2	0.550
2 - 4	0.582
4 - 6	0.618
6 - 8	0.662
8 - 10	0.715
10 - 12	0.781
12 - 14	0.866
14 - 16	0.982
16 - 18	1.153
18 - 20	1.436
20 - 22	2.047
22 - 24	8.661
24 - 26	2.807
26 - 28	1.670
28 - 30	1.274
30 - 32	1.058
32 - 34	0.919

Intervalo (min)	Precipitación incremental (mm)
34 - 36	0.820
36 - 38	0.746
38 - 40	0.687
40 - 42	0.639
42 - 44	0.599
44 - 46	0.565

Tabla 34

Hietograma de diseño – F. Bell adaptado por Y. Tueros; para $T = 140$ años, $t = 60\text{min}$ e $i = 2\text{min}$

Intervalo (min)	Precipitación incremental (mm)
0 - 3	0.706
3 - 6	0.753
6 - 9	0.809
9 - 12	0.879
12 - 15	0.967
15 - 18	1.083
18 - 21	1.247
21 - 24	1.501
24 - 27	1.968
27 - 30	3.308
30 - 33	10.207
33 - 36	2.412
36 - 39	1.693
39 - 42	1.359
42 - 45	1.158
45 - 48	1.021
48 - 51	0.920
51 - 54	0.842
54 - 57	0.780
57 - 60	0.728

Tabla 35

Hietograma de diseño – F. Bell adaptado por Y. Tueros; para $T = 140$ años, $t = 60\text{min}$ e $i = 2\text{min}$

Intervalo (min)	Precipitación incremental (mm)
0 - 3	0.616
3 - 6	0.648
6 - 9	0.685
9 - 12	0.728
12 - 15	0.780
15 - 18	0.842
18 - 21	0.920
21 - 24	1.021
24 - 27	1.158
27 - 30	1.359
30 - 33	1.693
33 - 36	2.412
36 - 39	10.207
39 - 42	3.308
42 - 45	1.968
45 - 48	1.501
48 - 51	1.247
51 - 54	1.083
54 - 57	0.967
57 - 60	0.879
60 - 63	0.809
63 - 66	0.753
66 - 69	0.706
69 - 72	0.666
72 - 75	0.632

d) Método de IILA SENAMHI UNI.

Tabla 36

Hietograma de diseño – IILA SENAMHI UNI; para $T = 140$ años, $t = 46\text{min}$ e $i = 2\text{min}$

Intervalo (min)	Precipitación incremental (mm)
0 - 2	0.265
2 - 4	0.283
4 - 6	0.304
6 - 8	0.330
8 - 10	0.361
10 - 12	0.400
12 - 14	0.452

Intervalo (min)	Precipitación incremental (mm)
14 - 16	0.524
16 - 18	0.633
18 - 20	0.819
20 - 22	1.243
22 - 24	7.771
24 - 26	1.803
26 - 28	0.978
28 - 30	0.712
30 - 32	0.572
32 - 34	0.485
34 - 36	0.424
36 - 38	0.379
38 - 40	0.344
40 - 42	0.316
42 - 44	0.293
44 - 46	0.274

Tabla 37

Hietograma de diseño – IILA SENAMHI–UNI; para $T = 140$ años, $t = 60\text{min}$ e $i = 3\text{min}$

Intervalo (min)	Precipitación incremental (mm)
0 - 3	0.331
3 - 6	0.357
6 - 9	0.389
9 - 12	0.429
12 - 15	0.479
15 - 18	0.548
18 - 21	0.647
21 - 24	0.804
24 - 27	1.105
27 - 30	2.037
30 - 33	8.779
33 - 36	1.404
36 - 39	0.926
39 - 42	0.715
42 - 45	0.592
45 - 48	0.511
48 - 51	0.452
51 - 54	0.408

Intervalo (min)	Precipitación incremental (mm)
54 - 57	0.372
57 - 60	0.344

Tabla 38

Hietograma de diseño – IILA SENAMHI–UNI; para $T = 140$ años, $t = 75\text{min}$ e $i = 3\text{min}$

Intervalo (min)	Precipitación incremental (mm)
0 - 3	0.283
3 - 6	0.300
6 - 9	0.320
9 - 12	0.344
12 - 15	0.372
15 - 18	0.408
18 - 21	0.452
21 - 24	0.511
24 - 27	0.592
27 - 30	0.715
30 - 33	0.926
33 - 36	1.404
36 - 39	8.779
39 - 42	2.037
42 - 45	1.105
45 - 48	0.804
48 - 51	0.647
51 - 54	0.548
54 - 57	0.479
57 - 60	0.429
60 - 63	0.389
63 - 66	0.357
66 - 69	0.331
69 - 72	0.310
72 - 75	0.291

4.2.2. Resultados gráficos generados por el programa desarrollado

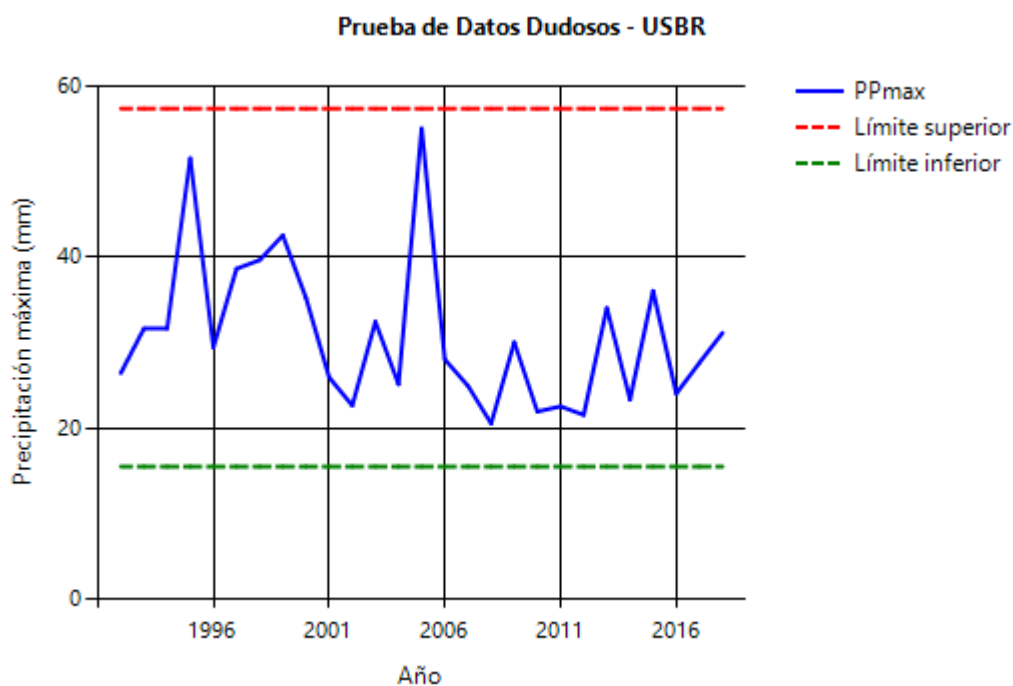
Los resultados gráficos generados por el programa computacional permiten visualizar de manera clara el comportamiento probabilístico de la serie de precipitación, así como la representación funcional de las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) ajustadas. Asimismo, los gráficos

facilitan la interpretación de la distribución temporal de la lluvia a través de los hietogramas de diseño obtenidos.

La representación gráfica complementa el análisis numérico desarrollado en las secciones anteriores, ya que permite identificar tendencias, comparar el desempeño de los distintos métodos y evaluar visualmente la coherencia hidrológica de los resultados obtenidos.

Figura 44

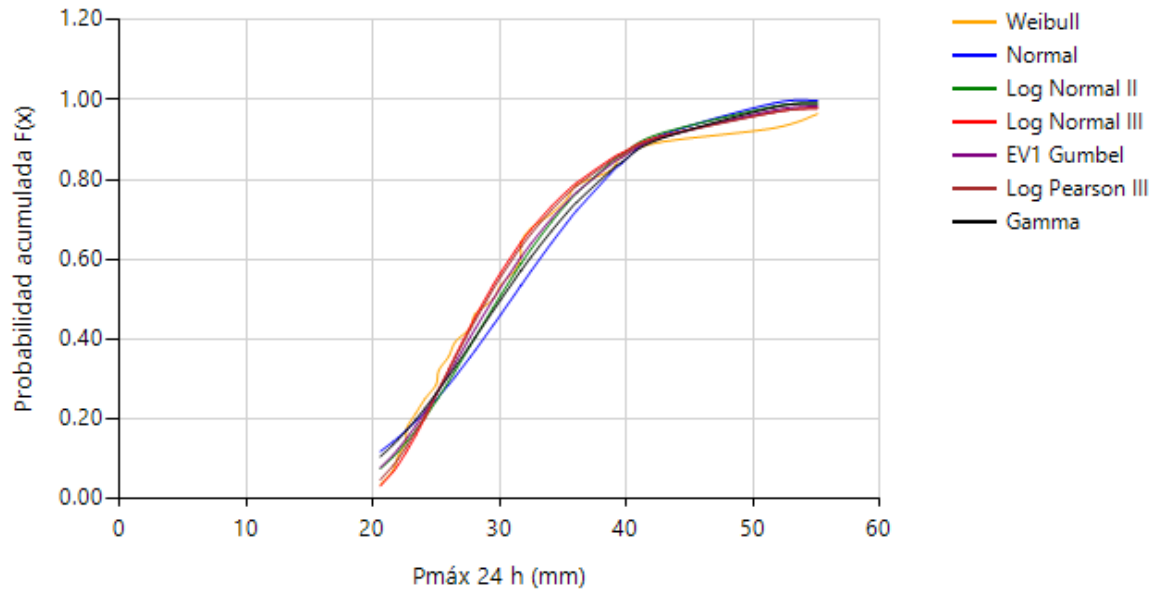
Detección de datos dudosos en la serie de $P_{\text{máx}}$ de 24h



La figura permite detectar de manera visual aquellos valores que se apartan del comportamiento general de la serie de precipitación máxima en 24 horas. Esta revisión es importante porque ayuda a detectar posibles datos atípicos, errores de registro o valores poco consistentes que podrían influir en el análisis estadístico posterior.

Figura 45

Comparación gráfica de la distribución empírica y teórica mediante Kolgomorov - Smirnov



La Figura 45 muestra de forma visual qué tan cercana es la distribución observada de los datos respecto a las distribuciones teóricas ajustadas. A través de esta comparación es posible apreciar si el modelo probabilístico seleccionado representa adecuadamente el comportamiento de la serie. Mientras menor sea la diferencia entre ambas curvas, mayor será el nivel de ajuste.

La Figura 46 presenta la relación entre las frecuencias observadas en los datos reales y las frecuencias estimadas por la distribución teórica propuesta. Esta comparación permite evaluar visualmente si existe una correspondencia aceptable entre ambos conjuntos de valores, lo cual es fundamental para respaldar la bondad de ajuste del modelo. En otras palabras, la gráfica ayuda a identificar si la distribución elegida reproduce de manera razonable la frecuencia con la que ocurren los distintos intervalos de precipitación.

Figura 46

Comparación de frecuencias observadas y teóricas mediante el Chi cuadrado

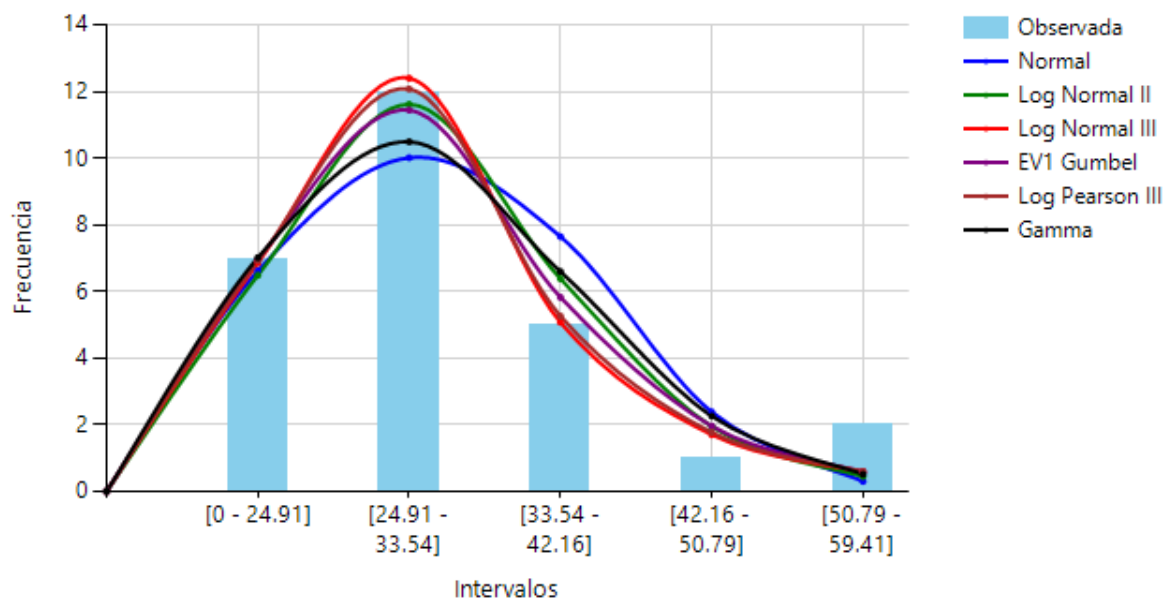


Figura 47

Curvas IDF (Dick Peschke)

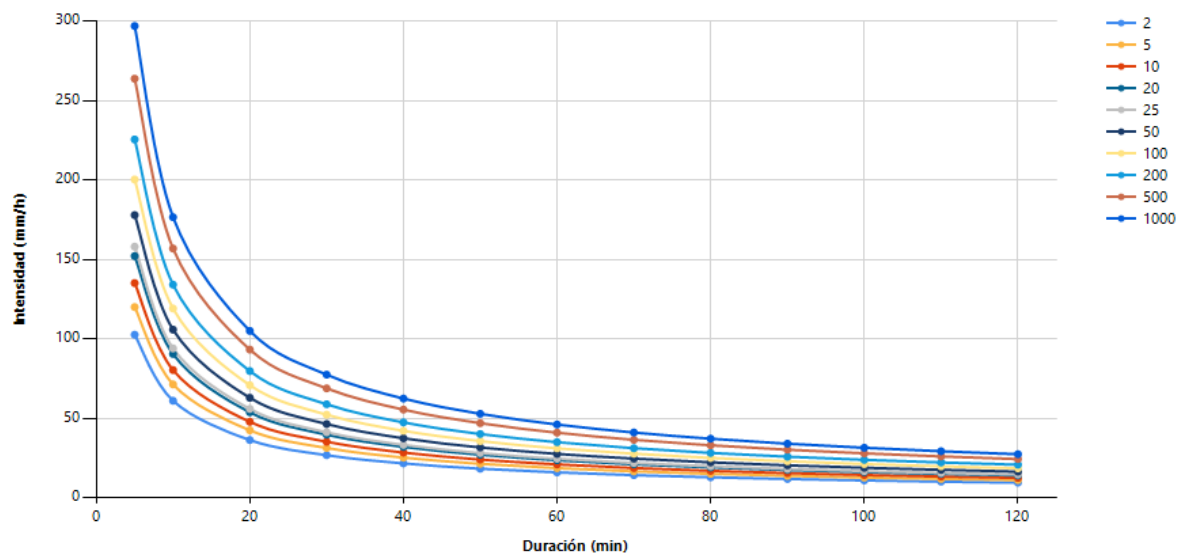


Figura 48

Curvas IDF (Coeficientes)

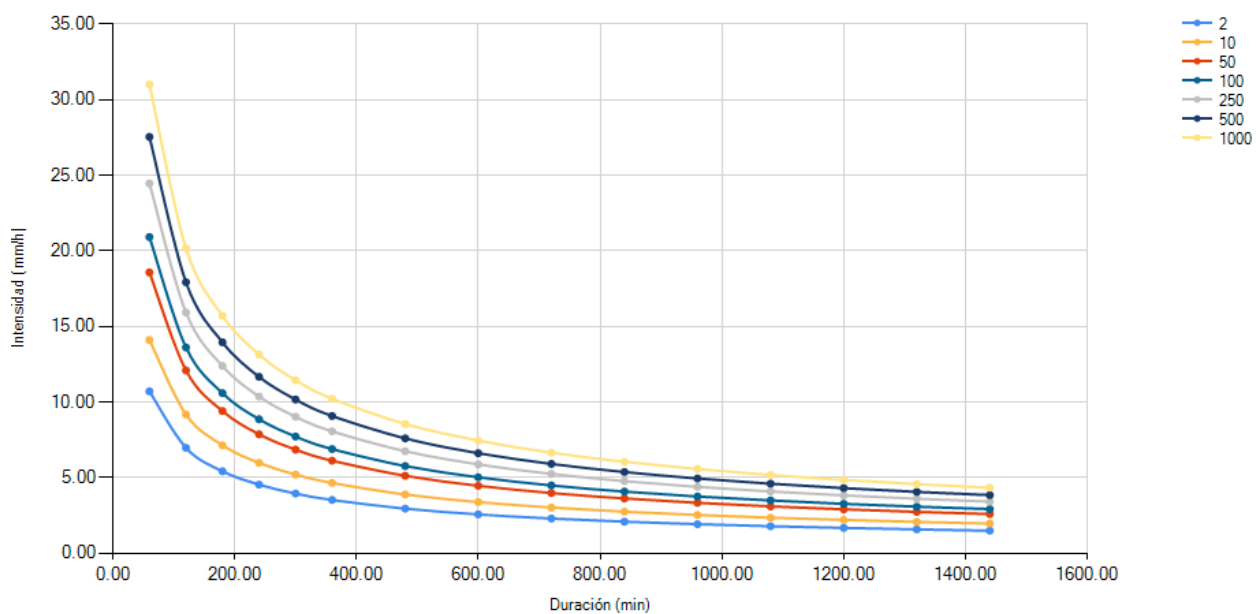


Figura 49

Curvas IDF (Frederich Bell adaptado por Yance Tueros)

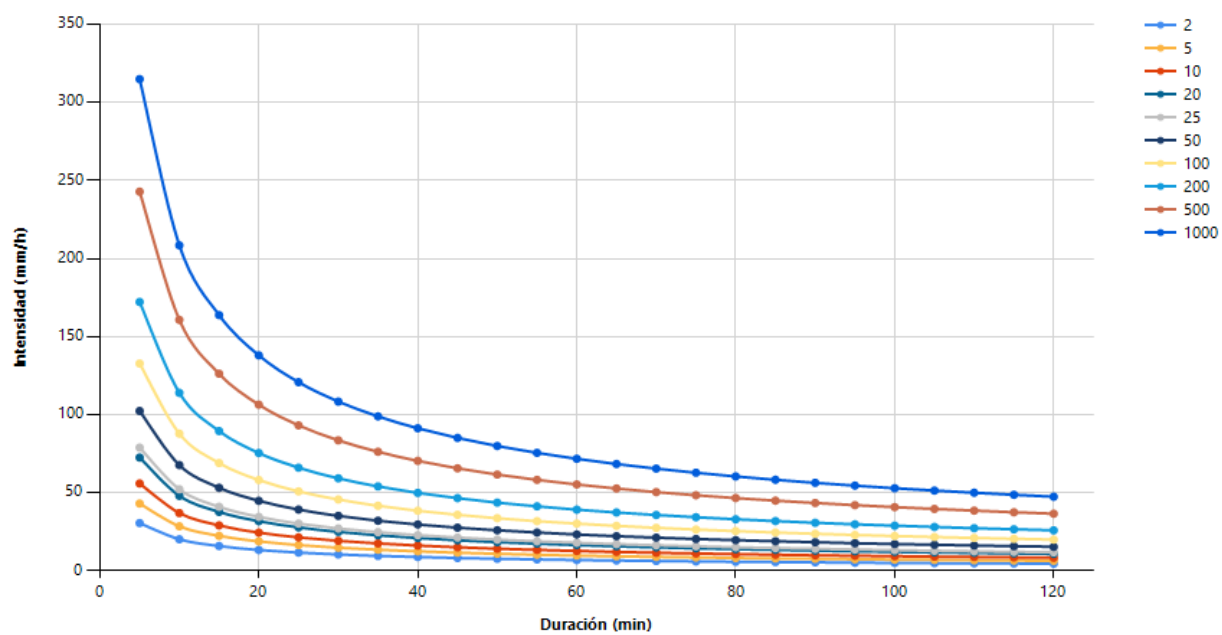


Figura 50

Curvas IDF (IILA SENAMHI UNI)

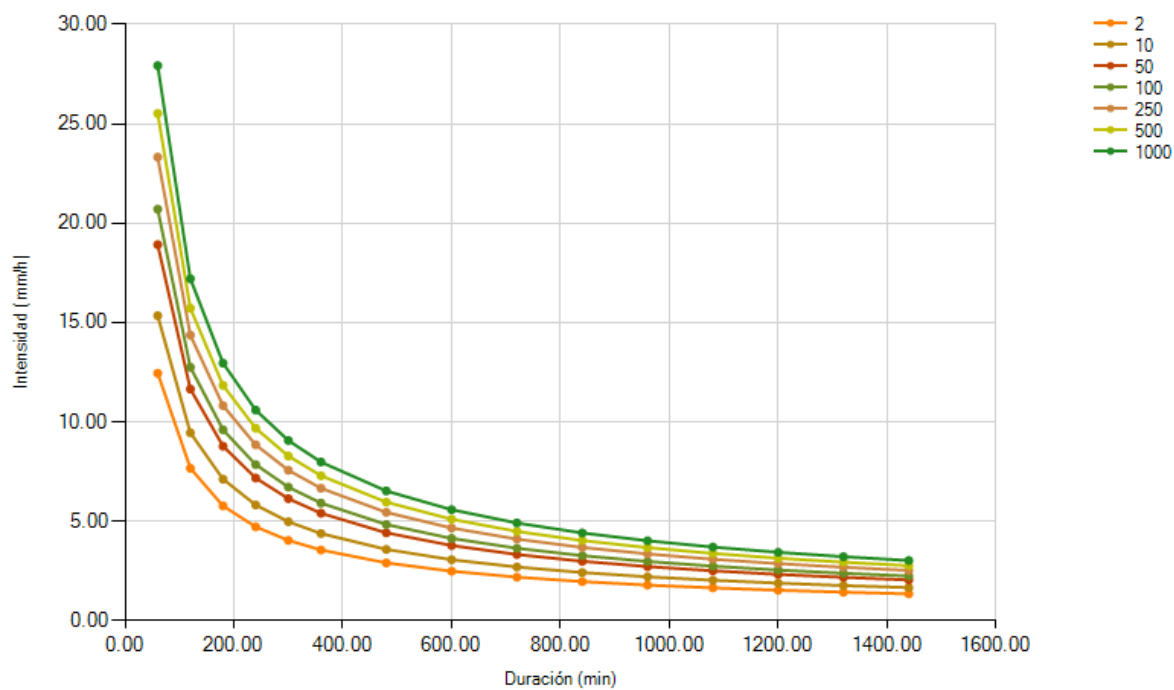


Figura 51

Hietograma de diseño - método de Dick Peschke

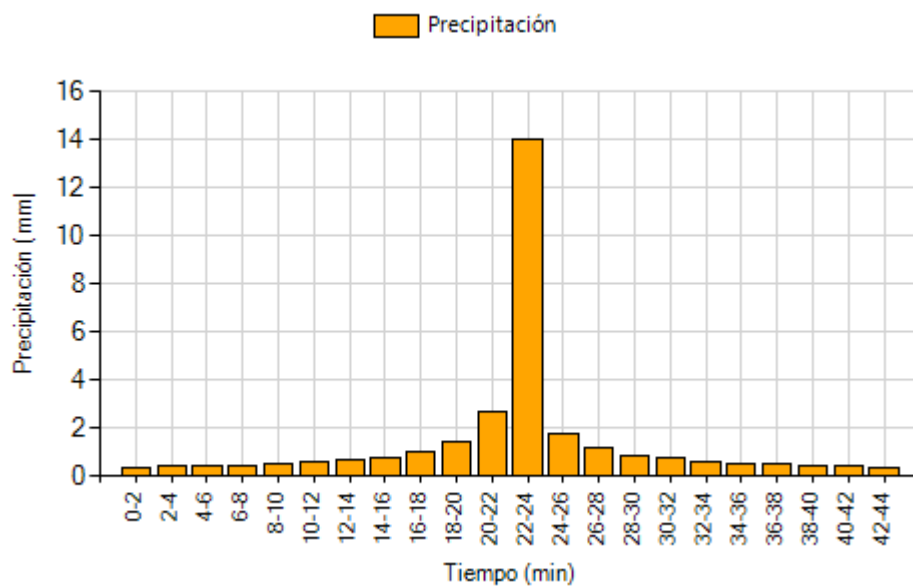


Figura 52

Hietograma de diseño - método de Coeficientes

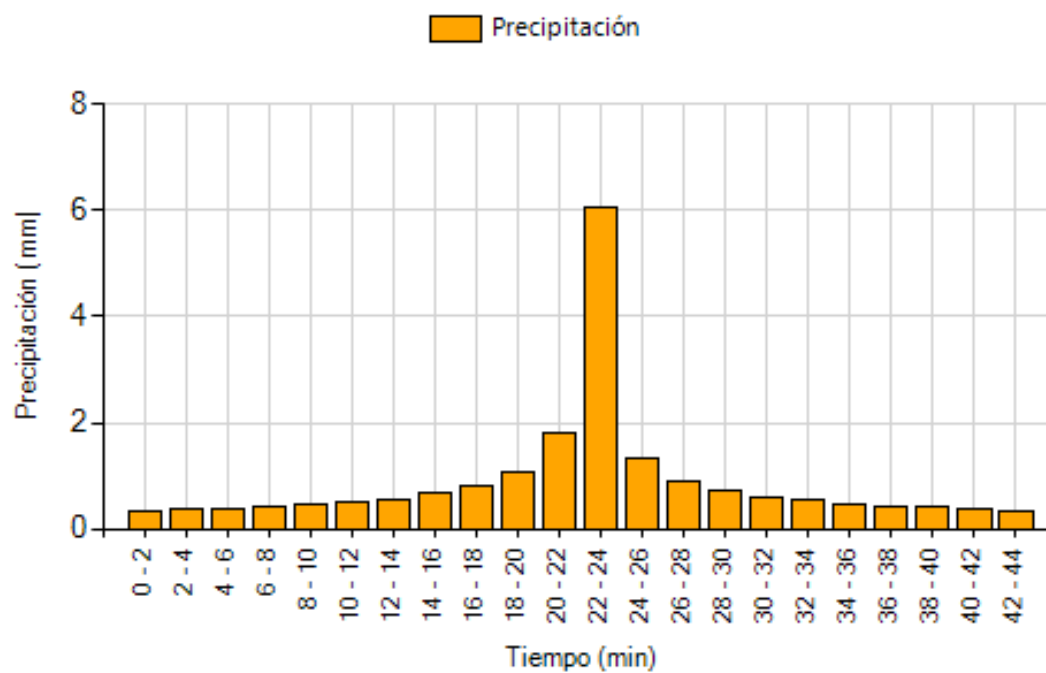


Figura 53

Hietograma de diseño – Método Frederick Bell adaptado por Yance Tueros

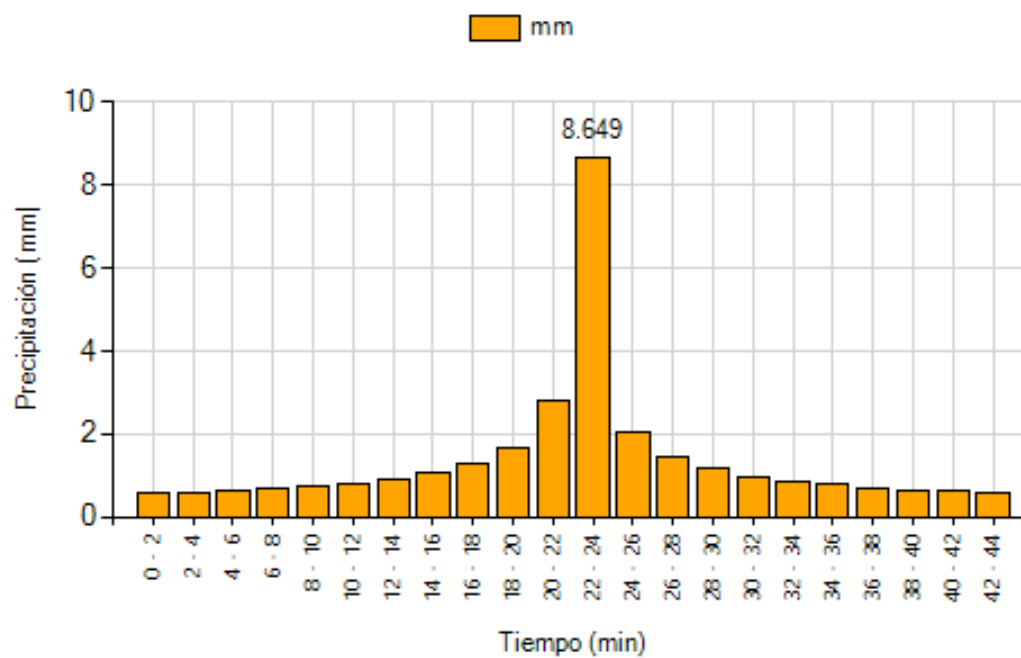
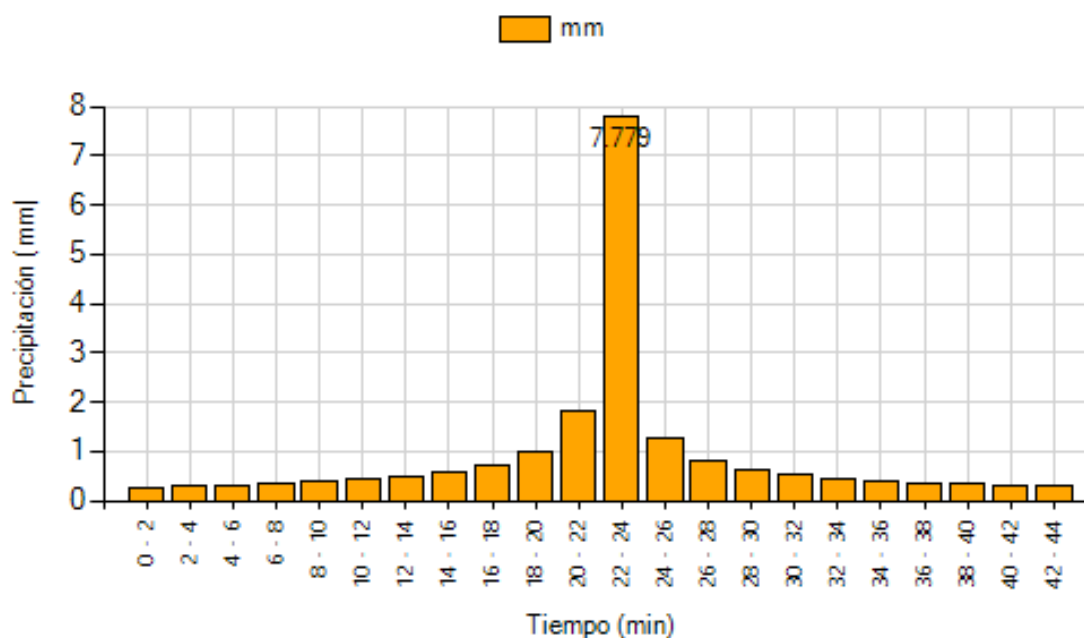


Figura 54

Hietograma de diseño - método de IILA SENAMHI UNI



4.3. Validación del programa computacional

La validación realizada mostró una buena concordancia entre los resultados generados por el programa computacional y los obtenidos con Excel e HIDROESTA. Esta coincidencia permite afirmar que los procedimientos implementados reproducen de forma consistente los cálculos utilizados en el análisis hidrológico, lo que respalda la confiabilidad del programa desarrollado.

4.3.1. Validación de la consistencia interna

Los resultados de la validación interna mostraron que el programa mantiene una adecuada coherencia entre sus distintos módulos de cálculo. Se comprobó que los datos procesados, las precipitaciones de diseño, las intensidades obtenidas, el hietograma y las curvas IDF conservan una relación lógica y consistente a lo largo de todo el flujo de procesamiento implementado. De manera específica, se verificó que:

- Los parámetros estimados de la distribución seleccionada guardaran correspondencia con los estadísticos descriptivos calculados previamente.

- Las precipitaciones máximas en 24 horas, obtenidas para cada período de retorno, fueran consistentes con la distribución de probabilidad adoptada.
- Las precipitaciones desagregadas mantuvieran relación con la precipitación total de diseño.
- Las intensidades calculadas reflejaran correctamente la relación entre la precipitación acumulada y la duración del evento.
- La suma de los intervalos del hietograma coincide con la precipitación total considerada para el evento.
- Los parámetros de la ecuación IDF representaran de forma adecuada las intensidades generadas por el modelo.

En conjunto, estos resultados confirman que existe una integración adecuada entre los módulos estadísticos e hidrológicos del programa, lo que respalda su coherencia interna y el funcionamiento consistente del modelo implementado.

4.3.2. Validación mediante comparación con herramientas de referencia

Los resultados de la comparación con herramientas de referencia mostraron una concordancia favorable entre los valores generados por el programa y los obtenidos mediante hojas de cálculo en Excel y el software especializado HIDROESTA. Esta revisión permitió comprobar no solo la coincidencia numérica de los resultados, sino también la consistencia en la aplicación de los métodos hidrológicos implementados en el sistema.

a) Comparación de parámetros de distribución de probabilidades

Tabla 39

Comparación de los parámetros estimados de la distribución Normal entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA

Parámetro	Programa VB	Excel	HIDROESTA	Δ VB–HID	Δ %
μ	30.9407	30.9407	30.9407	0	0.00%
σ	8.7521	8.7521	8.7521	0	0.00%

Tabla 40

Comparación de los parámetros estimados de la distribución Log Normal II entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA

Parámetro	Programa VB	Excel	HIDROESTA	Δ VB-HID	Δ %
μy	3.398	3.398	3.398	0	0.00%
σy	0.259	0.259	0.259	0	0.00%

Tabla 41

Comparación de los parámetros estimados de la distribución Log Normal III entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA

Parámetro	Programa VB	Excel	HIDROESTA	Δ VB-HID	Δ %
X_o	15.8569	15.8569	15.8569	0	0.00%
μy	2.5643	2.5643	2.5643	0	0.00%
σy	0.5457	0.5457	0.5457	0	0

Tabla 42

Comparación de los parámetros estimados de la distribución Gumbel entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA

Parámetro	Programa VB	Excel	HIDROESTA	Δ VB-HID	Δ %
μ	27.0019	27.0019	27.0018	0.0001	0.00%
α	6.824	6.824	6.824	0	0.00%

Tabla 43

Comparación de los parámetros estimados de la distribución Log Pearson III entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA

Parámetro	Programa VB	Excel	HIDROESTA	Δ VB-HID	Δ %
X_o	2.6517	2.6517	2.6517	0	0.00%
γ	8.3016	8.3016	8.3016	0	0.00%
β	0.0899	0.0899	0.0899	0	0

Tabla 44

Comparación de los parámetros estimados de la distribución Gamma entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA

Parámetro	Programa VB	Excel	HIDROESTA	Observación
Forma	12.4979	12.4979	14.8532	Diferente parametrización
Escala	2.4757	2.4757	2.0831	Diferente parametrización

b) Comparación de las precipitaciones máximas.

Tabla 45

Comparación de las precipitaciones máximas estimadas mediante la distribución Normal entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA

T (años)	VB.NET	Excel	HIDROESTA
2	34.963	34.963	34.962
3	39.223	39.223	39.222
5	43.287	43.287	43.290
10	47.637	47.637	47.641
20	51.230	51.230	51.234
25	52.277	52.277	52.285
30	53.100	53.100	53.099
50	55.274	55.274	55.280
100	57.970	57.970	57.980
200	60.438	60.438	60.444
300	61.795	61.795	61.800
500	63.428	63.428	63.427
1000	65.525	65.525	65.529

Tabla 46

Comparación de las precipitaciones máximas estimadas mediante la distribución Log Normal II entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA

T	VB.NET	Excel	HIDROESTA
2	33.793	33.793	33.798
3	37.781	37.781	37.776
5	42.024	42.024	42.025
10	47.096	47.097	47.098

T	VB.NET	Excel	HIDROESTA
20	51.743	51.744	51.754
25	53.182	53.182	53.189
30	54.341	54.341	54.342
50	57.525	57.525	57.528
100	61.733	61.734	61.743
200	65.854	65.855	65.856
300	68.237	68.237	68.241
500	71.219	71.219	71.224
1000	75.240	75.241	75.247

Tabla 47

Comparación de las precipitaciones máximas estimadas mediante la distribución Log Normal III entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA

T	VB.NET	Excel	HIDROESTA
2	32.599	32.599	32.601
3	36.489	36.489	36.488
5	41.157	41.157	41.155
10	47.461	47.461	47.460
20	53.939	53.939	53.946
25	56.080	56.080	56.093
30	57.853	57.853	57.867
50	62.943	62.943	62.952
100	70.164	70.164	70.173
200	77.783	77.783	77.801
300	82.438	82.438	82.456
500	88.521	88.521	88.536
1000	97.182	97.182	97.191

Tabla 48

Comparación de las precipitaciones máximas estimadas mediante la distribución Gumbel entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA.

T	VB.NET	Excel	HIDROESTA
2	33.338	33.338	33.335
3	37.473	37.473	37.471
5	42.078	42.078	42.081
10	47.865	47.865	47.867
20	53.416	53.416	53.415

T	VB.NET	Excel	HIDROESTA
25	55.176	55.176	55.178
30	56.609	56.609	56.613
50	60.601	60.601	60.602
100	65.984	65.984	65.981
200	71.349	71.349	71.348
300	74.482	74.482	74.478
500	78.426	78.426	78.422
1000	83.775	83.775	83.778

Tabla 49

Comparación de las precipitaciones máximas estimadas mediante la distribución Log Pearson III entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA

T	VB.NET	Excel	HIDROESTA
2	32.808	32.808	32.804
3	36.777	36.777	36.782
5	41.451	41.451	41.471
10	47.693	47.694	47.720
20	54.084	54.084	54.104
25	56.199	56.200	56.206
30	57.953	57.954	57.958
50	63.005	63.006	62.964
100	70.230	70.232	70.105
200	77.948	77.949	77.654
300	82.716	82.718	82.287
500	89.016	89.018	88.332
1000	98.126	98.129	96.898

Tabla 50

Comparación de las precipitaciones máximas estimadas mediante la distribución Gamma entre el programa desarrollado, Excel e HIDROESTA

T	VB.NET	Excel	HIDROESTA
2	34.039	34.039	34.183
3	38.397	38.397	38.183
5	42.887	42.887	42.285
10	48.068	48.068	46.974
20	52.649	52.649	51.099

T	VB.NET	Excel	HIDROESTA
25	54.036	54.036	52.342
30	55.144	55.144	53.325
50	58.143	58.143	56.003
100	62.009	62.010	59.427
200	65.695	65.696	62.659
300	67.783	67.784	64.489
500	70.354	70.354	66.704
1000	73.750	73.751	69.585

c) Comparación de precipitaciones

Tabla 51

Precipitaciones estimadas mediante el método de Dick Peschke en Excel para diferentes duraciones y períodos de retorno

(hr)	(min)	2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000
0.17	10	9.47	11.97	13.77	15.61	16.22	18.19	20.27	22.50	25.70	28.33
0.33	20	11.26	14.23	16.37	18.57	19.29	21.63	24.11	26.76	30.56	33.69
0.50	30	12.46	15.75	18.12	20.55	21.35	23.94	26.68	29.61	33.82	37.28
0.67	40	13.39	16.92	19.47	22.08	22.94	25.72	28.67	31.82	36.34	40.06
0.83	50	14.16	17.89	20.59	23.35	24.26	27.20	30.32	33.65	38.43	42.36
1.00	60	14.82	18.73	21.55	24.44	25.39	28.47	31.73	35.22	40.22	44.33
1.50	90	16.40	20.73	23.85	27.04	28.10	31.50	35.12	38.97	44.51	49.06
2.00	120	17.63	22.27	25.62	29.06	30.19	33.85	37.73	41.88	47.83	52.72
4.00	240	20.96	26.48	30.47	34.56	35.91	40.26	44.87	49.80	56.88	62.70
6.00	360	23.20	29.31	33.72	38.24	39.74	44.55	49.66	55.12	62.94	69.39
7.00	420	24.11	30.46	35.05	39.75	41.30	46.30	51.61	57.28	65.42	72.11
8.00	480	24.93	31.50	36.24	41.09	42.70	47.87	53.36	59.23	67.64	74.56
10.00	600	26.36	33.30	38.32	43.45	45.15	50.62	56.42	62.63	71.52	78.84
11.00	660	26.99	34.11	39.24	44.50	46.24	51.84	57.79	64.14	73.24	80.74
12.00	720	27.59	34.86	40.11	45.48	47.26	52.98	59.06	65.55	74.85	82.51
24.00	1440	32.81	41.45	47.69	54.08	56.20	63.00	70.23	77.95	89.02	98.13

Tabla 52

Precipitaciones estimadas mediante el método de Dick Peschke en el programa desarrollado para diferentes duraciones y periodos de retorno

(hr)	(min)	2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000
0.17	10	9.47	11.97	13.77	15.61	16.22	18.19	20.27	22.50	25.70	28.33
0.33	20	11.26	14.23	16.37	18.57	19.29	21.63	24.11	26.76	30.56	33.69
0.50	30	12.46	15.75	18.12	20.55	21.35	23.94	26.68	29.61	33.82	37.28
0.67	40	13.39	16.92	19.47	22.08	22.94	25.72	28.67	31.82	36.34	40.06
0.83	50	14.16	17.89	20.59	23.35	24.26	27.20	30.32	33.65	38.43	42.36
1.00	60	14.82	18.73	21.55	24.44	25.39	28.47	31.73	35.22	40.22	44.33
1.50	90	16.40	20.73	23.85	27.04	28.10	31.50	35.12	38.97	44.51	49.06
2.00	120	17.63	22.27	25.62	29.06	30.19	33.85	37.73	41.88	47.83	52.72
4.00	240	20.96	26.48	30.47	34.56	35.91	40.26	44.87	49.80	56.88	62.70
6.00	360	23.20	29.31	33.72	38.24	39.74	44.55	49.66	55.12	62.94	69.39
7.00	420	24.11	30.46	35.05	39.75	41.30	46.30	51.61	57.28	65.42	72.11
8.00	480	24.93	31.50	36.24	41.09	42.70	47.87	53.36	59.23	67.64	74.56
10.00	600	26.36	33.30	38.32	43.45	45.15	50.62	56.42	62.63	71.52	78.84
11.00	660	26.99	34.11	39.24	44.50	46.24	51.84	57.79	64.14	73.24	80.74
12.00	720	27.59	34.86	40.11	45.48	47.26	52.98	59.06	65.55	74.85	82.51
24.00	1440	32.81	41.45	47.69	54.08	56.20	63.00	70.23	77.95	89.02	98.13

Tabla 53

Precipitaciones estimadas mediante el método del Coeficiente en Excel para diferentes duraciones y periodos de retorno

Hr	Ctes	2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000
1.00	0.30	9.84	12.44	14.31	16.23	16.86	18.90	21.07	23.38	26.70	29.44
2.00	0.39	12.80	16.17	18.60	21.09	21.92	24.57	27.39	30.40	34.72	38.27
3.00	0.46	15.09	19.07	21.94	24.88	25.85	28.98	32.31	35.86	40.95	45.14
4.00	0.52	17.06	21.55	24.80	28.12	29.22	32.76	36.52	40.53	46.29	51.03
5.00	0.57	18.70	23.63	27.19	30.83	32.03	35.91	40.03	44.43	50.74	55.93
6.00	0.61	20.01	25.29	29.09	32.99	34.28	38.43	42.84	47.55	54.30	59.86
8.00	0.68	22.31	28.19	32.43	36.78	38.22	42.84	47.76	53.00	60.53	66.73
10.00	0.75	24.61	31.09	35.77	40.56	42.15	47.25	52.67	58.46	66.76	73.59
12.00	0.80	26.25	33.16	38.15	43.27	44.96	50.40	56.18	62.36	71.21	78.50
14.00	0.84	27.56	34.82	40.06	45.43	47.21	52.92	58.99	65.48	74.77	82.43
16.00	0.88	28.87	36.48	41.97	47.59	49.46	55.44	61.80	68.59	78.33	86.35

Hr	Ctes	2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000
18.00	0.91	29.86	37.72	43.40	49.22	51.14	57.33	63.91	70.93	81.00	89.29
20.00	0.94	30.84	38.96	44.83	50.84	52.83	59.22	66.02	73.27	83.67	92.24
22.00	0.97	31.82	40.21	46.26	52.46	54.51	61.11	68.12	75.61	86.35	95.18
24.00	1.00	32.81	41.45	47.69	54.08	56.20	63.00	70.23	77.95	89.02	98.13

Tabla 54

Precipitaciones estimadas mediante el método del Coeficiente en el programa desarrollado para diferentes duraciones y períodos de retorno

(hr)	Ctes	2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000
1.00	0.30	9.84	12.44	14.31	16.23	16.86	18.90	21.07	23.38	26.70	29.44
2.00	0.39	12.80	16.17	18.60	21.09	21.92	24.57	27.39	30.40	34.72	38.27
3.00	0.46	15.09	19.07	21.94	24.88	25.85	28.98	32.31	35.86	40.95	45.14
4.00	0.52	17.06	21.55	24.80	28.12	29.22	32.76	36.52	40.53	46.29	51.03
5.00	0.57	18.70	23.63	27.19	30.83	32.03	35.91	40.03	44.43	50.74	55.93
6.00	0.61	20.01	25.29	29.09	32.99	34.28	38.43	42.84	47.55	54.30	59.86
8.00	0.68	22.31	28.19	32.43	36.78	38.22	42.84	47.76	53.00	60.53	66.73
10.00	0.75	24.61	31.09	35.77	40.56	42.15	47.25	52.67	58.46	66.76	73.59
12.00	0.80	26.25	33.16	38.15	43.27	44.96	50.40	56.18	62.36	71.21	78.50
14.00	0.84	27.56	34.82	40.06	45.43	47.21	52.92	58.99	65.48	74.77	82.43
16.00	0.88	28.87	36.48	41.97	47.59	49.46	55.44	61.80	68.59	78.33	86.35
18.00	0.91	29.86	37.72	43.40	49.22	51.14	57.33	63.91	70.93	81.00	89.29
20.00	0.94	30.84	38.96	44.83	50.84	52.83	59.22	66.02	73.27	83.67	92.24
22.00	0.97	31.82	40.21	46.26	52.46	54.51	61.11	68.12	75.61	86.35	95.18
24.00	1.00	32.81	41.45	47.69	54.08	56.20	63.00	70.23	77.95	89.02	98.13

Tabla 55

Precipitaciones estimadas mediante el método de Frederick Bell adaptado por Yance Tueros en Excel para diferentes duraciones y períodos de retorno

Hr	t(min)	2	5	10	20	25	30	50	100
0.08	5.00	2.00	3.17	4.19	5.36	5.77	6.12	7.16	8.72
0.17	10.00	3.00	4.75	6.28	8.03	8.64	9.16	10.71	13.06
0.25	15.00	3.67	5.80	7.68	9.81	10.56	11.20	13.09	15.96
0.33	20.00	4.18	6.62	8.76	11.19	12.05	12.77	14.94	18.21
0.42	25.00	4.61	7.30	9.65	12.34	13.28	14.08	16.46	20.07
0.50	30.00	4.98	7.88	10.42	13.32	14.34	15.20	17.77	21.67
0.58	35.00	5.30	8.39	11.10	14.18	15.27	16.19	18.93	23.08

Hr	t(min)	2	5	10	20	25	30	50	100
0.67	40.00	5.59	8.85	11.70	14.96	16.10	17.07	19.97	24.34
0.75	45.00	5.86	9.27	12.26	15.67	16.87	17.88	20.91	25.49
0.83	50.00	6.10	9.65	12.77	16.32	17.57	18.62	21.78	26.55
0.92	55.00	6.33	10.01	13.24	16.92	18.22	19.31	22.59	27.53
1.00	60.00	6.54	10.34	13.68	17.49	18.82	19.96	23.34	28.45
1.08	65.00	6.74	10.66	14.09	18.02	19.39	20.56	24.04	29.31
1.17	70.00	6.92	10.95	14.48	18.52	19.93	21.13	24.71	30.13
1.25	75.00	7.10	11.23	14.86	18.99	20.44	21.67	25.34	30.90
1.33	80.00	7.27	11.50	15.21	19.44	20.93	22.19	25.95	31.63
1.42	85.00	7.43	11.75	15.54	19.87	21.39	22.68	26.52	32.33
1.50	90.00	7.58	12.00	15.87	20.28	21.83	23.15	27.07	33.00
1.58	95.00	7.73	12.23	16.18	20.68	22.26	23.60	27.60	33.64
1.67	100.00	7.87	12.45	16.47	21.06	22.67	24.03	28.10	34.26
1.75	105.00	8.01	12.67	16.76	21.42	23.06	24.45	28.59	34.85
1.83	110.00	8.14	12.88	17.03	21.78	23.44	24.85	29.06	35.43
1.92	115.00	8.27	13.08	17.30	22.12	23.80	25.24	29.51	35.98
2.00	120.00	8.39	13.28	17.56	22.45	24.16	25.61	29.95	36.52

Tabla 56

Precipitaciones estimadas mediante el método de Frederick Bell adaptado por Yance Tueros en el programa desarrollado para diferentes duraciones y períodos de retorno

(hr)	(min)	2	5	10	20	25	30	50	100
0.08	5.00	2.00	3.17	4.19	5.36	5.77	6.12	7.16	8.72
0.17	10.00	3.00	4.75	6.28	8.03	8.64	9.16	10.71	13.06
0.25	15.00	3.67	5.80	7.68	9.81	10.56	11.20	13.09	15.96
0.33	20.00	4.18	6.62	8.76	11.19	12.05	12.77	14.94	18.21
0.42	25.00	4.61	7.30	9.65	12.34	13.28	14.08	16.46	20.07
0.50	30.00	4.98	7.88	10.42	13.32	14.34	15.20	17.77	21.67
0.58	35.00	5.30	8.39	11.10	14.18	15.27	16.19	18.93	23.08
0.67	40.00	5.59	8.85	11.70	14.96	16.10	17.07	19.97	24.34
0.75	45.00	5.86	9.27	12.26	15.67	16.87	17.88	20.91	25.49
0.83	50.00	6.10	9.65	12.77	16.32	17.57	18.62	21.78	26.55
0.92	55.00	6.33	10.01	13.24	16.92	18.22	19.31	22.59	27.53
1.00	60.00	6.54	10.34	13.68	17.49	18.82	19.96	23.34	28.45
1.08	65.00	6.74	10.66	14.09	18.02	19.39	20.56	24.04	29.31
1.17	70.00	6.92	10.95	14.48	18.52	19.93	21.13	24.71	30.13
1.25	75.00	7.10	11.23	14.86	18.99	20.44	21.67	25.34	30.90
1.33	80.00	7.27	11.50	15.21	19.44	20.93	22.19	25.95	31.63

(hr)	(min)	2	5	10	20	25	30	50	100
1.42	85.00	7.43	11.75	15.54	19.87	21.39	22.68	26.52	32.33
1.50	90.00	7.58	12.00	15.87	20.28	21.83	23.15	27.07	33.00
1.58	95.00	7.73	12.23	16.18	20.68	22.26	23.60	27.60	33.64
1.67	100.00	7.87	12.45	16.47	21.06	22.67	24.03	28.10	34.26
1.75	105.00	8.01	12.67	16.76	21.42	23.06	24.45	28.59	34.85
1.83	110.00	8.14	12.88	17.03	21.78	23.44	24.85	29.06	35.43
1.92	115.00	8.27	13.08	17.30	22.12	23.80	25.24	29.51	35.98
2.00	120.00	8.39	13.28	17.56	22.45	24.16	25.61	29.95	36.52

Tabla 57

Precipitaciones estimadas mediante el método de IILA SENAMHI UNI en Excel para diferentes duraciones y períodos de retorno

(hr)	(mn)	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
1.00	60	10.94	13.00	14.56	16.62	18.19	19.75	21.31	23.37	24.93
2.00	120	7.27	8.64	9.68	11.05	12.09	13.12	14.16	15.53	16.57
3.00	180	5.58	6.64	7.43	8.48	9.28	10.08	10.87	11.93	12.72
4.00	240	4.59	5.46	6.11	6.98	7.63	8.29	8.94	9.81	10.47
5.00	300	3.93	4.67	5.23	5.98	6.54	7.10	7.66	8.40	8.96
6.00	360	3.46	4.11	4.60	5.25	5.75	6.24	6.73	7.38	7.88
7.00	420	3.10	3.68	4.12	4.71	5.15	5.59	6.03	6.62	7.06
8.00	480	2.81	3.34	3.74	4.27	4.68	5.08	5.48	6.01	6.41
9.00	540	2.58	3.07	3.44	3.93	4.29	4.66	5.03	5.52	5.89
10.00	600	2.39	2.84	3.18	3.64	3.98	4.32	4.66	5.11	5.45
11.00	660	2.23	2.65	2.97	3.39	3.71	4.03	4.35	4.77	5.09
12.00	720	2.09	2.49	2.79	3.18	3.48	3.78	4.08	4.47	4.77
13.00	780	1.97	2.35	2.63	3.00	3.28	3.56	3.85	4.22	4.50
14.00	840	1.87	2.22	2.49	2.84	3.11	3.37	3.64	3.99	4.26
15.00	900	1.78	2.11	2.36	2.70	2.95	3.21	3.46	3.80	4.05
16.00	960	1.69	2.01	2.25	2.57	2.82	3.06	3.30	3.62	3.86
17.00	1020	1.62	1.92	2.16	2.46	2.69	2.92	3.15	3.46	3.69
18.00	1080	1.55	1.84	2.07	2.36	2.58	2.80	3.02	3.32	3.54
19.00	1140	1.49	1.77	1.99	2.27	2.48	2.69	2.90	3.19	3.40
20.00	1200	1.44	1.71	1.91	2.18	2.39	2.59	2.80	3.07	3.27
21.00	1260	1.38	1.65	1.84	2.10	2.30	2.50	2.70	2.96	3.16
22.00	1320	1.34	1.59	1.78	2.03	2.22	2.41	2.60	2.86	3.05
23.00	1380	1.29	1.54	1.72	1.97	2.15	2.34	2.52	2.76	2.95
24.00	1440	1.25	1.49	1.67	1.90	2.08	2.26	2.44	2.68	2.86

Tabla 58

Precipitaciones estimadas mediante el método de IILA SENAMHI UNI en el programa desarrollado para diferentes duraciones y períodos de retorno

(hr)	(mn)	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
1.00	60	10.94	13.00	14.56	16.62	18.19	19.75	21.31	23.37	24.93
2.00	120	7.27	8.64	9.68	11.05	12.09	13.12	14.16	15.53	16.57
3.00	180	5.58	6.64	7.43	8.48	9.28	10.08	10.87	11.93	12.72
4.00	240	4.59	5.46	6.11	6.98	7.63	8.29	8.94	9.81	10.47
5.00	300	3.93	4.67	5.23	5.98	6.54	7.10	7.66	8.40	8.96
6.00	360	3.46	4.11	4.60	5.25	5.75	6.24	6.73	7.38	7.88
7.00	420	3.10	3.68	4.12	4.71	5.15	5.59	6.03	6.62	7.06
8.00	480	2.81	3.34	3.74	4.27	4.68	5.08	5.48	6.01	6.41
9.00	540	2.58	3.07	3.34	3.93	4.29	4.66	5.03	5.52	5.89
10.00	600	2.39	2.84	3.18	3.64	3.98	4.32	4.66	5.11	5.45
11.00	660	2.23	2.65	2.97	3.39	3.71	4.03	4.35	4.77	5.09
12.00	720	2.09	2.49	2.79	3.18	3.48	3.78	4.08	4.47	4.77
13.00	780	1.97	2.35	2.63	3.00	3.28	3.56	3.85	4.22	4.50
14.00	840	1.87	2.22	2.49	2.84	3.11	3.37	3.64	3.99	4.26
15.00	900	1.78	2.11	2.36	2.70	2.95	3.21	3.46	3.80	4.05
16.00	960	1.69	2.01	2.25	2.57	2.82	3.06	3.30	3.62	3.86
17.00	1020	1.62	1.92	2.16	2.46	2.69	2.92	3.15	3.46	3.69
18.00	1080	1.55	1.84	2.07	2.36	2.58	2.80	3.02	3.32	3.54
19.00	1140	1.49	1.77	1.99	2.27	2.48	2.69	2.90	3.19	3.40
20.00	1200	1.44	1.71	1.91	2.18	2.39	2.59	2.80	3.07	3.27
21.00	1260	1.38	1.65	1.84	2.10	2.30	2.50	2.70	2.96	3.16
22.00	1320	1.34	1.59	1.78	2.03	2.22	2.41	2.60	2.86	3.05
23.00	1380	1.29	1.54	1.72	1.97	2.15	2.34	2.52	2.76	2.95
24.00	1440	1.25	1.49	1.67	1.90	2.08	2.26	2.44	2.68	2.86

d) Comparación de parámetros de la ecuación IDF

Tabla 59

Comparación de los parámetros de la ecuación IDF obtenidos mediante el método de Dick Peschke entre el programa desarrollado y Excel

Parámetro	VB.net	Excel
K	306.196	306.227
m	0.171	0.171
n	0.750	0.750

R^2	0.9991	0.9990
-------	--------	--------

Tabla 60

Comparación de los parámetros de la ecuación IDF obtenidos mediante el método de Coeficientes entre el programa desarrollado y Excel

Parámetro	VB.net	Excel
K	120.504	120.412
m	0.171	0.171
n	0.619	0.619
R^2	0.9965	0.9968

Tabla 61

Comparación de los parámetros de la ecuación IDF obtenidos mediante el método de Frederick Bell adaptado por Yance Tueros entre el programa desarrollado y Excel

Parámetro	VB.net	Excel
K	61.944	63.162
m	0.373	0.373
n	0.595	0.573
R^2	0.9931	0.9915

Tabla 62

Comparación de los parámetros de la ecuación IDF obtenidos mediante el método de IILA SENAMHI UNI entre el programa desarrollado y Excel

Parámetro	VB.net	Excel
K	199.067	199.237
m	0.130	0.130
n	0.699	0.699
R^2	0.9964	0.9963

4.4. Análisis comparativo entre métodos implementados

Con el objetivo de analizar el desempeño de los distintos enfoques hidrológicos incorporados en el programa computacional, se llevó a cabo un análisis comparativo entre los cuatro métodos implementados: Dick Peschke, Frederick Bell adaptado por Yance Tueros, Método de Coeficientes e IILA–SENAMHI–UNI. Esta comparación permitió identificar similitudes y diferencias en los

resultados generados por cada método, así como evaluar su comportamiento dentro del sistema desarrollado.

El análisis se realizó considerando los siguientes criterios:

- Magnitud de las precipitaciones desagregadas.
- Intensidades obtenidas para duraciones representativas.
- Forma y pendiente de las curvas IDF.
- Distribución temporal de los hietogramas de diseño.

Los resultados indican que, aunque se presentan algunas diferencias en la magnitud de las intensidades y en la forma en que la lluvia se concentra a lo largo del tiempo, todos los métodos mantienen coherencia desde el punto de vista hidrológico. Estas variaciones responden principalmente a los supuestos empíricos y a los rangos de aplicación propios de cada formulación, más que a posibles inconsistencias del programa computacional.

En particular, el método de Dick Peschke mostró una mayor concentración de intensidad en eventos de corta duración. En contraste, el método de Frederick Bell adaptado por Yance Tueros presentó una distribución ligeramente más uniforme de la precipitación en el tiempo. El Método de Coeficientes evidenció un comportamiento intermedio, conservando una relación proporcional entre la duración del evento y la intensidad de la lluvia. Por su parte, el método IILA–SENAMHI–UNI permitió generar escenarios de diseño en situaciones donde no se dispone de registros históricos suficientes, lo que lo convierte en una alternativa útil para estudios de carácter preliminar.

En conjunto, el análisis comparativo evidencia que el programa ofrece una adecuada flexibilidad metodológica, permitiendo al usuario seleccionar el enfoque más conveniente según las características y necesidades específicas del estudio.

4.5. MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL

Con el propósito de facilitar el uso y la correcta aplicación del programa computacional desarrollado, se elaboró un manual de usuario en el que se describe de forma detallada el proceso de instalación, el ingreso de datos, la selección de los métodos disponibles y la generación de resultados.

Este manual incluye los siguientes apartados principales:

- Requisitos del sistema necesarios para la instalación y funcionamiento del programa.
- Descripción de la interfaz gráfica y de sus principales componentes.
- Procedimiento para el ingreso de datos de precipitación máxima en 24 horas.
- Ejecución del análisis estadístico y del análisis de frecuencia.
- Selección del método de desagregación de la precipitación.
- Generación de intensidades, curvas IDF y hietogramas de diseño.
- Exportación y almacenamiento de los resultados obtenidos.

La elaboración de este manual permite asegurar que el programa pueda ser utilizado de manera autónoma por estudiantes y profesionales del área de ingeniería hidráulica. De esta forma, se contribuye a mejorar la accesibilidad y comprensión de la herramienta digital, cumpliendo con el objetivo específico planteado en la investigación.

Asimismo, el manual de usuario incorpora un apartado de advertencias básicas para el uso adecuado del programa. En dicho apartado se precisan los principales criterios que el usuario debe revisar antes de interpretar los resultados, tales como la calidad, continuidad y longitud de la serie de precipitación máxima en 24 horas, la representatividad de la estación pluviométrica empleada, la correcta selección de la zona o subzona pluviométrica en el método IILA–SENAMHI–UNI clásico y la incertidumbre asociada a la estimación de eventos extremos para periodos de retorno altos. De esta manera, el manual no solo describe el funcionamiento operativo del programa, sino que también orienta al usuario en la aplicación técnica de los métodos incorporados.

4.6. SÍNTESIS DE CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS

Con base en los resultados obtenidos y en el proceso de validación realizado, se puede afirmar que el programa computacional desarrollado cumple de manera satisfactoria con el objetivo general planteado en la presente investigación.

En relación con el primer objetivo específico, se logró definir e implementar un modelo matemático integral que permite generar curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) e hietogramas de diseño a partir de datos de precipitación máxima en 24 horas. Este modelo integra de forma articulada el análisis estadístico, el análisis de frecuencia, la desagregación de la precipitación y la correspondiente parametrización matemática.

Respecto al segundo objetivo específico, se verificó el correcto funcionamiento de la herramienta digital mediante un proceso de validación que incluyó tanto la revisión de la consistencia interna del modelo como la comparación de los resultados con los obtenidos en hojas de cálculo Excel y en software especializado. Los resultados mostraron una alta concordancia entre los valores calculados, lo que respalda la precisión del programa.

Finalmente, en cumplimiento del tercer objetivo específico, se elaboró un manual de usuario que describe el funcionamiento del programa y orienta al usuario en su aplicación. Este documento facilita la comprensión y el uso adecuado de la herramienta por parte de estudiantes y profesionales del área.

En conjunto, los resultados alcanzados evidencian que el programa desarrollado constituye una herramienta confiable, funcional y útil para estudios hidrológicos enfocados en el análisis de precipitaciones y el diseño de obras hidráulicas.

El aporte del programa desarrollado se centra en automatizar, organizar y visualizar procedimientos hidrológicos para la obtención de curvas IDF e hietogramas de diseño. Por ello, la herramienta resulta útil para fines académicos, análisis local de series de precipitación máxima en 24 horas, comparación de métodos de desagregación y comprensión del proceso de cálculo hidrológico-estadístico.

Sin embargo, los resultados deben interpretarse dentro del alcance metodológico de la investigación. El programa no sustituye la plataforma oficial IDF-Perú ni la información emitida por SENAMHI, ya que responde a un enfoque local y computacional distinto al enfoque regional de SENAMHI 2023. En consecuencia, para estudios definitivos, expedientes técnicos o proyectos de mayor responsabilidad hidráulica, los resultados deben contrastarse con fuentes oficiales actualizadas y evaluarse con criterio técnico especializado.

CONCLUSIONES

1. Respecto al objetivo general, se desarrolló un programa computacional en Visual Basic .NET, implementado en el entorno Visual Studio, para obtener curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) y hietogramas de diseño en Ayacucho, a partir de datos de precipitación máxima en 24 horas. El programa integra procedimientos hidrológicos, estadísticos y gráficos, permitiendo automatizar cálculos que normalmente se realizan de forma manual.
2. Respecto al primer objetivo específico, se precisó e incorporó el modelo matemático del programa computacional, considerando el análisis estadístico de la serie de precipitación, la evaluación de datos dudosos, las pruebas de aleatoriedad, independencia, homogeneidad y estacionariedad, así como el ajuste de distribuciones de probabilidad. Además, se incluyeron procedimientos para estimar precipitaciones máximas asociadas a diferentes periodos de retorno, calcular intensidades y generar curvas IDF e hietogramas de diseño.
3. Respecto al segundo objetivo específico, se comprobó el correcto funcionamiento de la herramienta digital mediante la comparación de los resultados generados por Hidrology v.1.0.0 con los obtenidos en Microsoft Excel y en HIDROESTA. La concordancia observada en los valores calculados y en las representaciones gráficas permitió verificar la correcta implementación de los algoritmos y el adecuado procesamiento de los datos pluviométricos. Asimismo, Hidrology requirió un tiempo promedio de 5 minutos para completar el procesamiento y la generación de resultados, mientras que el procedimiento desarrollado en Microsoft Excel demandó aproximadamente 45 minutos y el procedimiento combinado HIDROESTA–Excel requirió alrededor de 30 minutos. En consecuencia, el programa permitió reducir el tiempo de procesamiento en 89 % respecto a Excel y en 83 % respecto al procedimiento combinado HIDROESTA–Excel. Por tanto, bajo las condiciones evaluadas, Hidrology no solo produjo resultados consistentes y confiables, sino que también automatizó el análisis hidrológico y disminuyó considerablemente el tiempo requerido para obtener las curvas IDF y los hietogramas de diseño.
4. Respecto al tercer objetivo específico, se elaboró un manual de usuario del programa computacional, orientado a facilitar el manejo de la herramienta por parte de los usuarios. Este manual describe el ingreso de datos, el uso de los módulos de análisis estadístico, selección de distribuciones, generación de curvas IDF, elaboración de hietogramas y exportación de resultados, permitiendo una comprensión más ordenada del funcionamiento del programa.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que en futuros estudios se amplíe la base de datos pluviométrica utilizada, incorporando registros con mayor extensión temporal y datos provenientes de un mayor número de estaciones meteorológicas. Esto permitiría mejorar la representatividad estadística del análisis de frecuencia y lograr estimaciones más confiables de las precipitaciones extremas.
2. Asimismo, se sugiere que en futuras versiones del programa computacional se incorporen nuevos métodos de desagregación de precipitación y modelos probabilísticos adicionales. La inclusión de estos enfoques ampliaría las alternativas disponibles para el análisis hidrológico y facilitaría la comparación entre distintos métodos.
3. También se recomienda integrar al programa herramientas de análisis espacial y manejo de información geográfica. De esta manera, las curvas IDF y los hietogramas de diseño podrían relacionarse con las características físicas de las cuencas hidrográficas, lo que favorecería su aplicación en estudios hidrológicos a escala regional.
4. De igual forma, sería conveniente implementar módulos adicionales que permitan calcular automáticamente el tiempo de concentración y otros parámetros hidrológicos relevantes. Esto contribuiría a generar hietogramas de diseño de forma más integrada dentro del mismo sistema.
5. Se recomienda además que el programa desarrollado pueda emplearse como herramienta de apoyo en cursos de hidrología y diseño hidráulico, ya que facilita la comprensión de procesos como el análisis estadístico de precipitaciones, el análisis de frecuencia y la construcción de curvas IDF.
6. Se recomienda utilizar el programa desarrollado como una herramienta académica y técnica de apoyo para el análisis local, la comparación de métodos hidrológicos, la generación de curvas IDF y la construcción de hietogramas de diseño. Sin embargo, sus resultados no deben considerarse sustitutos de la plataforma oficial IDF-Perú ni de la información oficial emitida por SENAMHI. Para estudios definitivos, expedientes técnicos o proyectos hidráulicos de alta responsabilidad, se recomienda contrastar los resultados con fuentes oficiales actualizadas y aplicar el criterio técnico del especialista.
7. Finalmente, se sugiere continuar con el desarrollo del programa mediante mejoras en la interfaz gráfica y la optimización de los algoritmos de cálculo. Estas acciones

permitirían incrementar la eficiencia del software y facilitar su uso tanto para estudiantes como para profesionales del área de ingeniería.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Mijares, F. J. A. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Limusa.
- Ahrens, C. D., & Henson, R. (2019). *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and Environment* (12th ed., Vol. 1). Cengage Learning.
- Benavides, S. A. M. (2025). Herramienta para la importación automatizada de metodologías técnicas en documentos de ingeniería mediante programación en Visual Basic. Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/entities/publication/e301ee32-6ec1-45a5-9e70-9c33ff17a679>
- Chang, K. B., Lai, S. H., & Faridah, O. (2013). RainIDF: automated derivation of rainfall intensity–duration–frequency relationship from annual maxima and partial duration series. *Journal of Hydroinformatics*, 15(4), 1224–1233. <https://doi.org/10.2166/hydro.2013.192>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.
- Coles, S. (2001). *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3675-0>
- Diario Oficial el Peruano. (2021). *Anexo I. Hidrologia*.
- Felix, J., Chávez, J. P., & Muñoz, M. A. (2021). Obtención de curvas de intensidad-duración-frecuencia a partir de distribuciones de probabilidad del río Chone. *Pharmacognosy Magazine*, 75(17), 399–405.
- Gutiérrez, C. V. N. (2014). Programa para el diseño hidráulico y estructural de bocatomas tipo barraje con el Visual Basic 9.0. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/d18362c6-2a09-4ece-b29f-d95f67a4f337>
- Helsel, D. R., Hirsch, R. M., Ryberg, K. R., Archfield, S. A., & Gilroy, E. J. (2020). *Statistical methods in water resources*. <https://doi.org/10.3133/tm4A3>

- Huerta, A., Lavado-Casimiro, W., & Felipe-Obando, O. (2022). High-resolution gridded hourly precipitation dataset for Peru (PISCOp_h). *Data in Brief*, 45, 108570. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108570>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Kilgore, R., Atayee, T., & Hermann, G. (2022). Urban Drainage Design. *FHWA HIF-24-006*. <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/hif24006.pdf?utm>
- LakhiA, K. (2023). The Federal Guidelines for Dam Safety. *National Dam Safety Program*. https://damfailures.org/sites/default/files/wp-pdf/FEMA-P-93_Federal-Guidelines-for-Dam-Safety_2023.pdf?utm
- Lanciotti, S., Ridolfi, E., Russo, F., & Napolitano, F. (2022). Intensity–Duration–Frequency Curves in a Data-Rich Era: A Review. *Water*, 14(22), 3705. <https://doi.org/10.3390/w14223705>
- Lau, A., & Behrangi, A. (2022). Understanding Intensity–Duration–Frequency (IDF) Curves Using IMERG Sub-Hourly Precipitation against Dense Gauge Networks. *Remote Sensing*, 14(19), 5032. <https://doi.org/10.3390/rs14195032>
- Lawrence Dingman. (2015). *Physical hydrology (3rd ed.)* (Vol. 3).
- Maderey Rascón, L. E. (2005). *Principios de hidrogeografía: Estudio del ciclo hidrológico*. UNAM.
- Martínez, P. L. (2023). *Curvas de intensidad - duración - frecuencia para La ciudad de Cuenca*.
- Mijares, F. J. A. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Limusa.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2011). Manual de carreteras: Hidrología, hidráulica y drenaje. *Gobierno Del Perú*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_11%20HHD-2011.pdf
- Montesinos, C Lavado N Quijada, L. (2023). *Desarrollo de curvas pluviométricas Intensidad-Duración-Frecuencia (idf) en Perú*.
- Natali, S., Baneschi, I., Doveri, M., Giannecchini, R., Selmo, E., & Zanchetta, G. (2021). Meteorological and geographical control on stable isotopic signature of precipitation

- in a western Mediterranean area (Tuscany, Italy): Disentangling a complex signal. *Journal of Hydrology*, 603, 126944. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126944>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la C. y la C. [UNESCO]. (2020). *Water and climate change*. UNESCO.
- Paliz, C., Perugachi, N., Martínez, J., & Moreno, M. (2021). Análisis estadístico de datos de las precipitaciones usando métodos robustos y bootstrap. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la UCE*, 1(1), 15–28. <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG/article/view/3515>
- Pizarro, R., Abarza, A., Farías, C., & Jordán, C. (2003). Construcción de Curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) en zonas semiáridas de Chile Central. *Depto. de Gestión Forestal y Ambiental, Universidad de Talca, Chile*. <https://www.fao.org/4/XII/0397-B3.htm>
- SENAMHI. (2021). Desarrollo de curvas pluviométricas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en Perú. Ministerio del Ambiente. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-106.pdf>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI. (2022). *Control de calidad de datos de estaciones meteorológicas e hidrológicas automáticas en el centro de procesamiento de datos del SENAMHI*. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/00711SENA-95.pdf>
- Shamshad, A., Azhari, M. N., Isa, M. H., Hussin, W. M. A. W., & Parida, B. P. (2008). Development of an appropriate procedure for estimation of RUSLE EI30 index and preparation of erosivity maps for Pulau Penang in Peninsular Malaysia. *CATENA*, 72(3), 423–432. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.08.002>
- Steduto, P. ., Faurès, J.-Marc., Hoogeveen, Jippe., Winpenny, J. T. ., & Burke, J. J. . (2012). *Coping with water scarcity : an action framework for agriculture and food security*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Stenta, H., Rentería, J. P., & Riccardi, G. (2005). Plataforma computacional para gestión de información en la simulación hidrológica-hidráulica del escurrimiento superficial. Congreso Nacional del Agua y III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur. https://www.fceia.unr.edu.ar/curiham/es/wp-content/uploads/2018/11/cna-2005_-stenta-renteria-riccardi.pdf

- Suárez-Aguilar, Z. E., Sepúlveda-Delgado, O., Patarroyo-Mesa, M., & Canaria-Camargo, L. C. (2020). Modelo matemático para estimar curvas de intensidad, duración y frecuencia de lluvias extremas en Tunja, Colombia. *Información Tecnológica*, 31(1), 193–206. doi:10.4067/S0718-07642020000100193
- Sun, Y., Wendi, D., Kim, D. E., & Liong, S.-Y. (2019). Deriving intensity–duration–frequency (IDF) curves using downscaled in situ rainfall assimilated with remote sensing data. *Geoscience Letters*, 6(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s40562-019-0147-x>
- United States Department of Agriculture. (1986). *Urban hydrology for Small Watersheds [USDA]*.
- Vega, R. A. (2023). *Modelo bayesiano para estimación de curvas intensidad-duración-frecuencia basada en lluvia horaria y diaria en la region lima*.
- World Meteorological Organization. (2006). *Measurement of meteorological variables*.
- Yan, H., Sun, N., Wigmosta, M., Skaggs, R., Hou, Z., & Leung, R. (2018). Next-Generation Intensity-Duration-Frequency Curves for Hydrologic Design in Snow-Dominated Environments. *Water Resources Research*, 54(2), 1093–1108. <https://doi.org/10.1002/2017WR021290>
- Yin, S., Nearing, M. A., Borrelli, P., & Xue, X. (2017). Rainfall Erosivity: An Overview of Methodologies and Applications. *Vadose Zone Journal*, 16(12), 1–16. <https://doi.org/10.2136/vzj2017.06.0131>
- Zhu, S., Feng, C., Xing, L., Ren, Y., Qi, B., Zhang, P., & Tan, C. (2022b). Changes in Fault Slip Potential Due to Water Injection in the Rongcheng Deep Geothermal Reservoir, Xiong'an New Area, North China. *Water*, 14(3), 410. <https://doi.org/10.3390/w14030410>

ANEXOS

Anexo 1: Algoritmos de programación

Código A.1. Módulo de detección de datos dudosos

Formulario: FormOutliers

Módulo: Análisis de datos dudosos mediante el método USBR.

Fragmento representativo del código:

```
Public Class FormOutliers
```

```
    Public Sub CargarDatos(dgv As DataGridView)
```

```
        DgvOut.Rows.Clear()
```

```
        For Each fila As DataGridViewRow In dgv.Rows
```

```
            If Not fila.IsNewRow Then
```

```
                DgvOut.Rows.Add(  
                    fila.Cells(0).Value,  
                    fila.Cells(1).Value  
                )
```

```
            End If
```

```
        Next
```

```
        CalcularUSBR()
```

```
    End Sub
```

```
    Public Sub CalcularUSBR()
```

```
        Dim suma As Double = 0
```

```
        Dim n As Integer = DgvOut.Rows.Count
```

```
        Txtn.Text = n
```

```
        ' Cálculo del logaritmo de la precipitación
```

```
        For Each fila As DataGridViewRow In DgvOut.Rows
```

```
            Dim pmax As Double = Convert.ToDouble(fila.Cells(1).Value)
```

```
            Dim ln As Double = Math.Round(Math.Log(pmax), 3)
```

```
            fila.Cells(2).Value = ln
```

```
            suma += ln
```

```
        Next
```

```
        ' Cálculo de la media logarítmica
```

```

Dim media As Double = suma / n
Txtmedia.Text = Math.Round(media, 4)
' Cálculo de la desviación estándar
Dim suma2 As Double = 0
For Each fila As DataGridViewRow In DgvOut.Rows
    Dim xi As Double = Convert.ToDouble(fila.Cells(2).Value)
    suma2 += (xi - media) ^ 2
Next
Dim s As Double = Math.Sqrt(suma2 / (n - 1))
Txtdesviacion.Text = Math.Round(s, 4)
' Cálculo del coeficiente K según el tamaño de muestra
Dim K As Double
K = -3.62201 _
    + 6.28446 * (n ^ 0.25) _
    - 2.49835 * (n ^ 0.5) _
    + 0.491436 * (n ^ 0.75) _
    - 0.037911 * n
TxtK.Text = Math.Round(K, 4)
' Cálculo de límites permisibles
Dim maxLog As Double = media + K * s
Dim minLog As Double = media - K * s
Dim maxPermisible As Double = Math.Exp(maxLog)
Dim minPermisible As Double = Math.Exp(minLog)
Txtmaximo.Text = Math.Round(maxPermisible, 2)
Txtminimo.Text = Math.Round(minPermisible, 2)

' Clasificación de los datos
For Each fila As DataGridViewRow In DgvOut.Rows
    Dim pmax As Double = Convert.ToDouble(fila.Cells(1).Value)

```

```

    If pmax > maxPermisible Or pmax < minPermisible Then
        fila.Cells(3).Value = "No confiable"
    Else
        fila.Cells(3).Value = "Confiable"
    End If
Next
End Sub
End Class

```

Código A.2. Análisis estadístico de datos hidrológicos

Formulario: Form1

Módulo: Análisis estadístico de datos.

Fragmento representativo del código:

```

Imports MathNet.Numerics.Distributions

Private Sub EjecutarAnalisisEstadistico()
    Dim datos As List(Of Double) = ObtenerSeriePmax()
    If datos.Count < 3 Then
        MessageBox.Show("No hay datos suficientes para realizar el análisis estadístico.",
            "Análisis estadístico",
            MessageBoxButtons.OK,
            MessageBoxIcon.Warning)
    Exit Sub
End If

' Preparar tabla de resultados
DataGridView7.Columns.Clear()
DataGridView7.Rows.Clear()
DataGridView7.Columns.Add("colNumero", "N°")
DataGridView7.Columns.Add("colCriterio", "Criterio")
DataGridView7.Columns.Add("colPrueba", "Prueba")
DataGridView7.Columns.Add("colEstadistico", "Estadístico calculado")

```

```
DataGridView7.Columns.Add("colCritico", "Valor crítico")
```

```
DataGridView7.Columns.Add("colResultado", "Resultado")
```

```
Dim zCritico As Double = 1.96
```

```
' 1. Aleatoriedad: Wald-Wolfowitz
```

```
Dim zRachas As Double = CalcularWaldWolfowitz(datos)
```

```
AgregarResultado("1",
```

```
    "Aleatoriedad",
```

```
    "Wald-Wolfowitz",
```

```
    zRachas,
```

```
    zCritico,
```

```
    "La serie presenta comportamiento aleatorio")
```

```
' 2. Independencia: Autocorrelación serial
```

```
Dim zAuto As Double = CalcularAutocorrelacion(datos)
```

```
AgregarResultado("2",
```

```
    "Independencia",
```

```
    "Autocorrelación serial",
```

```
    zAuto,
```

```
    zCritico,
```

```
    "La serie es independiente")
```

```
' 3. Homogeneidad: t de Student
```

```
Dim gl As Integer = datos.Count - 2
```

```
Dim tCritico As Double = StudentT.InvCDF(0, 1, gl, 0.975)
```

```
Dim tCalculado As Double = CalcularHomogeneidadT(datos)
```

```
AgregarResultado("3",
```

```
    "Homogeneidad",
```

```
    "t de Student",
```

```
    tCalculado,
```

```
    tCritico,
```

```
    "La serie es homogénea")
```

' 4. Tendencia: Mann-Kendall

Dim zMK As Double = CalcularMannKendall(datos)

AgregarResultado("4",

 "Tendencia",

 "Mann-Kendall",

 zMK,

 zCritico,

 "La serie no presenta tendencia significativa")

End Sub

Private Function ObtenerSeriePmax() As List(Of Double)

 Dim datos As New List(Of Double)

 For Each fila As DataGridViewRow In dataGridView1.Rows

 If Not fila.IsNewRow AndAlso fila.Cells(1).Value IsNot Nothing Then

 Dim valor As Double

 If Double.TryParse(fila.Cells(1).Value.ToString(), valor) Then

 datos.Add(valor)

 End If

 End If

 Next

 Return datos

End Function

Private Function CalcularWaldWolfowitz(datos As List(Of Double)) As Double

 Dim ordenados = datos.OrderBy(Function(x) x).ToList()

 Dim mediana As Double = ordenados(ordenados.Count \ 2)

 Dim signos As New List(Of Integer)

 For Each x As Double In datos

 If x > mediana Then

 signos.Add(1)

```

    ElseIf x < mediana Then
        signos.Add(0)
    End If
Next
Dim n1 As Integer = signos.Count(Function(x) x = 1)
Dim n2 As Integer = signos.Count(Function(x) x = 0)
If n1 = 0 OrElse n2 = 0 Then Return 0
Dim rachas As Integer = 1
For i As Integer = 1 To signos.Count - 1
    If signos(i) <> signos(i - 1) Then
        rachas += 1
    End If
Next

Dim mediaR As Double = ((2 * n1 * n2) / (n1 + n2)) +
Dim varianzaR As Double =
    (2 * n1 * n2 * (2 * n1 * n2 - n1 - n2)) /
    (((n1 + n2) ^ 2) * (n1 + n2 - 1))
Dim z As Double = (rachas - mediaR) / Math.Sqrt(varianzaR)
Return z
End Function

Private Function CalcularAutocorrelacion(datos As List(Of Double)) As Double
    Dim n As Integer = datos.Count
    Dim media As Double = datos.Average()
    Dim numerador As Double = 0
    Dim denominador As Double = 0
    For i As Integer = 0 To n - 2
        numerador += (datos(i) - media) * (datos(i + 1) - media)
    Next

```

```

For i As Integer = 0 To n - 1
    denominador += (datos(i) - media) ^ 2
Next

Dim rk As Double = numerador / denominador
' Estadístico aproximado
Dim z As Double = rk * Math.Sqrt(n)

Return

End Function

Private Function CalcularHomogeneidadT(datos As List(Of Double)) As Double
    Dim mitad As Integer = datos.Count \ 2
    Dim grupo1 = datos.Take(mitad).ToList()
    Dim grupo2 = datos.Skip(mitad).ToList()
    Dim n1 As Integer = grupo1.Count
    Dim n2 As Integer = grupo2.Count
    Dim media1 As Double = grupo1.Average()
    Dim media2 As Double = grupo2.Average()

    Dim var1 As Double = grupo1.Sum(Function(x) (x - media1) ^ 2) / (n1 - 1)
    Dim var2 As Double = grupo2.Sum(Function(x) (x - media2) ^ 2) / (n2 - 1)
    Dim varCombinada As Double =
        (((n1 - 1) * var1) + ((n2 - 1) * var2)) / (n1 + n2 - 2)
    Dim t As Double =
        (media1 - media2) /
        (Math.Sqrt(varCombinada) * Math.Sqrt((1 / n1) + (1 / n2)))
    Return t
End Function

Private Function CalcularMannKendall(datos As List(Of Double)) As Double
    Dim n As Integer = datos.Count

```

```

Dim s As Integer = 0
For i As Integer = 0 To n - 2
    For j As Integer = i + 1 To n - 1
        If datos(j) > datos(i) Then
            s += 1
        ElseIf datos(j) < datos(i) Then
            s -= 1
        End If
    Next
Next

Dim varS As Double = n * (n - 1) * (2 * n + 5) / 18
Dim z As Double
If s > 0 Then
    z = (s - 1) / Math.Sqrt(varS)
ElseIf s < 0 Then
    z = (s + 1) / Math.Sqrt(varS)
Else
    z = 0
End If
Return z
End Function

```

```

Private Sub AgregarResultado(numero As String,
                             criterio As String,
                             prueba As String,
                             estadistico As Double,
                             critico As Double,
                             mensajeAceptacion As String)
    Dim resultado As String

```

```

If Math.Abs(estadistico) <= critico Then
    resultado = "Se acepta: " & mensajeAceptacion
Else
    resultado = "Se rechaza"
End If

```

```

DataGridView7.Rows.Add(numero,
                        criterio,
                        prueba,
                        estadistico.ToString("F4"),
                        "±" & critico.ToString("F4"),
                        resultado)

```

```

End Sub

```

Código A.3. Ajuste de distribuciones de probabilidad

Formulario: Distribucion

Módulo: Distribuciones de probabilidad.

Imports MathNet.Numerics.Distributions

Public Class Distribucion

```

Private Sub AjustarDistribucionesProbabilidad()

```

```

    Dim datos As List(Of Double) = ObtenerDatosPmax()

```

```

    If datos.Count < 3 Then

```

```

        MessageBox.Show("No hay datos suficientes para realizar el ajuste de
distribuciones.",

```

```

            "Distribuciones de probabilidad",

```

```

            MessageBoxButtons.OK,

```

```

            MessageBoxIcon.Warning)

```

```

    Exit Sub

```

```

End If

```

```

datos.Sort()

```

Dim n As Integer = datos.Count

Dim promedio As Double = datos.Average()

Dim mediana As Double = If(n Mod 2 = 0,
 (datos(n \ 2 - 1) + datos(n \ 2)) / 2,
 datos(n \ 2))

Dim desviacion As Double = CalcularDesviacion(datos)

Dim asimetria As Double = CalcularAsimetria(datos)

Dim datosLog As List(Of Double) =

 datos.Where(Function(x) x > 0).

 Select(Function(x) Math.Log(x)).

 ToList()

Dim promedioLog As Double = datosLog.Average()

Dim desviacionLog As Double = CalcularDesviacion(datosLog)

Dim asimetriaLog As Double = CalcularAsimetria(datosLog)

' Parámetros Log-Normal III

Dim minimo As Double = datos.Min()

Dim maximo As Double = datos.Max()

Dim xoLogNormalIII As Double =

 (minimo * maximo - mediana ^ 2) /

 (minimo + maximo - 2 * mediana)

' Parámetros Gamma

Dim escalaGamma As Double = (desviacion ^ 2) / promedio

Dim formaGamma As Double = (promedio ^ 2) / (desviacion ^ 2)

' Parámetros Log-Pearson III

Dim gammaPearson As Double = (2 / asimetriaLog) ^ 2

Dim deltaPearson As Double = desviacionLog / Math.Sqrt(gammaPearson)

Dim xoPearson As Double = promedioLog - gammaPearson * deltaPearson

' Parámetros Gumbel EV1

Dim alfaGumbel As Double = Math.Sqrt(6) * desviacion / Math.PI

Dim xoGumbel As Double = promedio - 0.57721 * alfaGumbel

DataGridView3.Columns.Clear()

DataGridView3.Rows.Clear()

DataGridView3.Columns.Add("Distribucion", "Distribución")

DataGridView3.Columns.Add("Parametro1", "Parámetro 1")

DataGridView3.Columns.Add("Parametro2", "Parámetro 2")

DataGridView3.Columns.Add("Parametro3", "Parámetro 3")

DataGridView3.Rows.Add("Normal",

" μ = " & promedio.ToString("F4"),

" σ = " & desviacion.ToString("F4"),

"-")

DataGridView3.Rows.Add("Log-Normal II",

" μ = " & promedioLog.ToString("F4"),

" σ = " & desviacionLog.ToString("F4"),

"-")

DataGridView3.Rows.Add("Log-Normal III",

"Xo = " & xoLogNormalIII.ToString("F4"),

" μ = " & promedioLog.ToString("F4"),

" σ = " & desviacionLog.ToString("F4"))

DataGridView3.Rows.Add("Gamma",

" α = " & escalaGamma.ToString("F4"),

```
"β = " & formaGamma.ToString("F4"),  
"-")
```

```
DataGridView3.Rows.Add("Log-Pearson III",  
    "γ = " & gammaPearson.ToString("F4"),  
    "δ = " & deltaPearson.ToString("F4"),  
    "Xo = " & xoPearson.ToString("F4"))
```

```
DataGridView3.Rows.Add("EV1 - Gumbel",  
    "Xo = " & xoGumbel.ToString("F4"),  
    "α = " & alfaGumbel.ToString("F4"),  
    "-")
```

```
CalcularKolmogorovSmirnov(datos,  
    promedio,  
    desviacion,  
    promedioLog,  
    desviacionLog,  
    xoLogNormalIII,  
    xoGumbel,  
    alfaGumbel,  
    formaGamma,  
    escalaGamma,  
    gammaPearson,  
    deltaPearson,  
    xoPearson)
```

```
CalcularPmaxPeriodoRetorno(promedio,  
    desviacion,  
    promedioLog,  
    desviacionLog,
```

```
xoLogNormalIII,  
xoGumbel,  
alfaGumbel,  
formaGamma,  
escalaGamma,  
gammaPearson,  
deltaPearson,  
xoPearson)
```

```
End Sub
```

```
Private Function ObtenerDatosPmax() As List(Of Double)
```

```
    Dim datos As New List(Of Double)
```

```
    For Each fila As DataGridViewRow In DataGridView1.Rows
```

```
        If Not fila.IsNewRow AndAlso fila.Cells("Maximo(mm)").Value IsNot Nothing  
Then
```

```
            Dim valor As Double
```

```
            If Double.TryParse(fila.Cells("Maximo(mm)").Value.ToString(), valor) Then
```

```
                If valor > 0 Then
```

```
                    datos.Add(valor)
```

```
                End If
```

```
            End If
```

```
        End If
```

```
    Next
```

```
    Return datos
```

```
End Function
```

```
Private Function CalcularDesviacion(datos As List(Of Double)) As Double
```

```
    Dim promedio As Double = datos.Average()
```

```
Dim suma As Double = datos.Sum(Function(x) (x - promedio) ^ 2)
Return Math.Sqrt(suma / (datos.Count - 1))
```

End Function

```
Private Function CalcularAsimetria(datos As List(Of Double)) As Double
```

```
Dim n As Integer = datos.Count
```

```
Dim promedio As Double = datos.Average()
```

```
Dim desviacion As Double = CalcularDesviacion(datos)
```

```
Dim suma As Double = datos.Sum(Function(x) (x - promedio) ^ 3)
```

```
Return (n * suma) / ((n - 1) * (n - 2) * (desviacion ^ 3))
```

End Function

```
Private Sub CalcularKolmogorovSmirnov(datos As List(Of Double),
```

```
    promedio As Double,
```

```
    desviacion As Double,
```

```
    promedioLog As Double,
```

```
    desviacionLog As Double,
```

```
    xoLogNormalIII As Double,
```

```
    xoGumbel As Double,
```

```
    alfaGumbel As Double,
```

```
    formaGamma As Double,
```

```
    escalaGamma As Double,
```

```
    gammaPearson As Double,
```

```
    deltaPearson As Double,
```

```
    xoPearson As Double)
```

```
Dim datosOrdenados = datos.OrderByDescending(Function(x) x).ToList()
```

```
Dim n As Integer = datosOrdenados.Count
```

```
Dim maxNormal As Double = 0
```

Dim maxLogNormalII As Double = 0

Dim maxLogNormalIII As Double = 0

Dim maxGumbel As Double = 0

Dim maxGamma As Double = 0

Dim maxPearsonIII As Double = 0

For i As Integer = 0 To n - 1

Dim x As Double = datosOrdenados(i)

Dim fEmpirica As Double = 1 - ((i + 1) / (n + 1.0))

Dim fNormal As Double =

Normal.CDF(promedio, desviacion, x)

Dim fLogNormalII As Double =

Normal.CDF(promedioLog, desviacionLog, Math.Log(x))

Dim fLogNormalIII As Double = 0

If x > xoLogNormalIII Then

fLogNormalIII =

Normal.CDF(promedioLog,

desviacionLog,

Math.Log(x - xoLogNormalIII))

End If

Dim fGumbel As Double =

Math.Exp(-Math.Exp(-(x - xoGumbel) / alfaGumbel))

Dim fGamma As Double =

Gamma.CDF(formaGamma, 1 / escalaGamma, x)

Dim fPearsonIII As Double = 0

Dim xPearson As Double = Math.Log(x) - xoPearson

If xPearson > 0 Then

fPearsonIII =

```

        Gamma.CDF(gammaPearson, 1 / deltaPearson, xPearson)
    End If
    maxNormal = Math.Max(maxNormal, Math.Abs(fNormal - fEmpirica))
    maxLogNormalII = Math.Max(maxLogNormalII, Math.Abs(fLogNormalII -
fEmpirica))
    maxLogNormalIII = Math.Max(maxLogNormalIII, Math.Abs(fLogNormalIII -
fEmpirica))
    maxGumbel = Math.Max(maxGumbel, Math.Abs(fGumbel - fEmpirica))
    maxGamma = Math.Max(maxGamma, Math.Abs(fGamma - fEmpirica))
    maxPearsonIII = Math.Max(maxPearsonIII, Math.Abs(fPearsonIII - fEmpirica))
Next

```

```

Dim deltaCritico As Double = 1.36 / Math.Sqrt(n)
DataGridView8.Columns.Clear()
DataGridView8.Rows.Clear()
DataGridView8.Columns.Add("Distribucion", "Distribución")
DataGridView8.Columns.Add("DeltaCritico", "Δ crítico")
DataGridView8.Columns.Add("DeltaMaximo", "Δ máximo")
DataGridView8.Columns.Add("Decision", "Decisión")
AgregarResultadoKS("Normal", deltaCritico, maxNormal)
AgregarResultadoKS("Log-Normal II", deltaCritico, maxLogNormalII)
AgregarResultadoKS("Log-Normal III", deltaCritico, maxLogNormalIII)
AgregarResultadoKS("EV1 - Gumbel", deltaCritico, maxGumbel)
AgregarResultadoKS("Gamma", deltaCritico, maxGamma)
AgregarResultadoKS("Log-Pearson III", deltaCritico, maxPearsonIII)
End Sub

```

```

Private Sub AgregarResultadoKS(nombre As String,
        deltaCritico As Double,
        deltaMaximo As Double)

```

```
Dim decision As String
If deltaMaximo <= deltaCritico Then
    decision = "Se ajusta"
Else
    decision = "Se rechaza"
End If
```

```
DataGridView8.Rows.Add(nombre,
                        deltaCritico.ToString("F4"),
                        deltaMaximo.ToString("F4"),
                        decision)
End Sub
```

```
Private Sub CalcularPmaxPeriodoRetorno(promedio As Double,
                                         desviacion As Double,
                                         promedioLog As Double,
                                         desviacionLog As Double,
                                         xoLogNormalIII As Double,
                                         xoGumbel As Double,
                                         alfaGumbel As Double,
                                         formaGamma As Double,
                                         escalaGamma As Double,
                                         gammaPearson As Double,
                                         deltaPearson As Double,
                                         xoPearson As Double)

    DataGridView10_Normal.Columns.Clear()
    DataGridView10_Normal.Rows.Clear()
    DataGridView10_Normal.Columns.Add("PeriodoRetorno", "T (años)")
    DataGridView10_Normal.Columns.Add("Normal", "Normal")
    DataGridView10_Normal.Columns.Add("LogNormalII", "Log-Normal II")
```

```
DataGridView10_Normal.Columns.Add("LogNormalIII", "Log-Normal III")
```

```
DataGridView10_Normal.Columns.Add("Gumbel", "EV1 - Gumbel")
```

```
DataGridView10_Normal.Columns.Add("Gamma", "Gamma")
```

```
DataGridView10_Normal.Columns.Add("PearsonIII", "Log-Pearson III")
```

```
Dim periodos() As Double = {2, 3, 5, 10, 20, 25, 30, 50, 100, 200, 300, 500, 1000}
```

```
For Each T As Double In periodos
```

```
    Dim p As Double = 1 - (1 / T)
```

```
    Dim z As Double = Normal.InvCDF(0, 1, p)
```

```
    Dim pNormal As Double =
```

```
        (promedio + z * desviacion) * 1.13
```

```
    Dim pLogNormalII As Double =
```

```
        Math.Exp(promedioLog + z * desviacionLog) * 1.13
```

```
    Dim pLogNormalIII As Double =
```

```
        (Math.Exp(promedioLog + z * desviacionLog) + xoLogNormalIII) * 1.13
```

```
    Dim ktGumbel As Double =
```

```
        -Math.Sqrt(6) / Math.PI *
```

```
        (0.5772 + Math.Log(Math.Log(T / (T - 1))))
```

```
    Dim pGumbel As Double =
```

```
        (promedio + ktGumbel * desviacion) * 1.13
```

```
    Dim pGamma As Double =
```

```
        Gamma.InvCDF(formaGamma, 1 / escalaGamma, p) * 1.13
```

```
    Dim ktPearson As Double =
```

```
        z +
```

```
        ((z ^ 2 - 1) * (1 / 6)) +
```

```
        ((z ^ 3 - 6 * z) * (1 / 3))
```

```
    Dim pPearsonIII As Double =
```

```
        Math.Exp(xoPearson + gammaPearson * deltaPearson + ktPearson *  
deltaPearson) * 1.13
```

```

DataGridView10_Normal.Rows.Add(T.ToString("F0"),
                                pNormal.ToString("F4"),
                                pLogNormalII.ToString("F4"),
                                pLogNormalIII.ToString("F4"),
                                pGumbel.ToString("F4"),
                                pGamma.ToString("F4"),
                                pPearsonIII.ToString("F4"))

Next
End Sub
End Class

```

Código A.4. Método de Dick Peschke

Formulario: Dick

Módulo: Curvas IDF e hietograma de diseño mediante el método de Dick Peschke.

Public Class Dick

```

Private Async Sub Dick_Load(sender As Object, e As EventArgs) Handles MyBase.Load
    TabControl1.DrawMode = TabDrawMode.OwnerDrawFixed
    TabControl1.SizeMode = TabSizeMode.Fixed
    TabControl1.ItemSize = New Size(0, 26)
    AjustarAnchoPestañas()
    Distribucion.AplicarUltimoPmax(DataGridView1)
    ConfigurarDataGridView1()
    LabelDistribucion.Text = $"Distribución: {Distribucion.NombreDistribucionActual}"
    Await Task.Run(Sub()
        Me.Invoke(Sub() LlenarDataGridView2())
        Me.Invoke(Sub() PasarValoresDeDG1aDG2())
        Me.Invoke(Sub() CalcularFormula())
        Me.Invoke(Sub() CalcularYMostrarEnDataGridView3())
    )

```

```
Me.Invoke(Sub() LlenarDataGridView4())
Me.Invoke(Sub() CalcularRegresion())
Me.Invoke(Sub() GraficarCurvaIDF())
Me.Invoke(Sub() LlenarDataGridView6())
Me.Invoke(Sub() GraficarHietograma())
```

```
End Sub)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub LlenarDataGridView2()
```

```
    DataGridView2.Columns.Clear()
```

```
    DataGridView2.Rows.Clear()
```

```
    DataGridView2.Columns.Add("Hr", "Hr")
```

```
    DataGridView2.Columns.Add("min", "min")
```

```
    Dim ctes() As Double =
```

```
        {10.0, 20.0, 30.0, 40.0, 50.0, 60.0,  
        90.0, 120.0, 240.0, 360.0, 420.0,  
        480.0, 600.0, 660.0, 720.0, 1440.0}
```

```
    For i As Integer = 0 To ctes.Length - 1
```

```
        Dim hr As Double = ctes(i) / 60
```

```
        DataGridView2.Rows.Add(hr, ctes(i))
```

```
    Next
```

```
    ConfigurarEncabezadoDataGridView2()
```

```
    AjustarColumnasDataGridView2()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub PasarValoresDeDG1aDG2()
```

```
    If DataGridView1.Columns.Count < 2 OrElse DataGridView1.Rows.Count = 0 Then  
Exit Sub
```

```
    If DataGridView2.Rows.Count = 0 Then Exit Sub
```

```
    Dim ultimaFila As Integer = DataGridView2.Rows.Count - 1
```

```

If DataGridView2.AllowUserToAddRows Then ultimaFila -= 1
If ultimaFila < 0 Then Exit Sub
Dim titulos() As String =
    {"2", "5", "10", "20", "25", "50", "100", "200", "500", "1000"}
For Each fila As DataGridViewRow In DataGridView1.Rows
    If fila.IsNewRow Then Continue For
    Dim titulo As Object = fila.Cells(0).Value
    Dim valor As Object = fila.Cells(1).Value
    If titulo Is Nothing OrElse valor Is Nothing Then Continue For
    If titulos.Contains(titulo.ToString()) Then
        Dim nombreColumna As String = titulo.ToString()
        If Not DataGridView2.Columns.Contains(nombreColumna) Then
            DataGridView2.Columns.Add(nombreColumna, nombreColumna)
        End If
        DataGridView2.Rows(ultimaFila).Cells(nombreColumna).Value = valor
    End If
Next
ConfigurarEncabezadoDataGridView2()
AjustarColumnasDataGridView2()
End Sub

Private Sub CalcularFormula()
    For i As Integer = 0 To DataGridView2.Rows.Count - 1
        If Not DataGridView2.Rows(i).IsNewRow Then
            Dim valorCtes As Double
            If Double.TryParse(DataGridView2.Rows(i).Cells(1).Value, valorCtes) Then
                For j As Integer = 2 To DataGridView2.Columns.Count - 1
                    Dim ultimaFila As Integer = DataGridView2.Rows.Count - 1
                    If DataGridView2.AllowUserToAddRows Then ultimaFila -= 1
                    Dim valorUltimo As Double

```

```
                If Double.TryParse(DataGridView2.Rows(ultimaFila).Cells(j).Value,
valorUltimo) Then
```

```
                    DataGridView2.Rows(i).Cells(j).Value =
                        (valorUltimo * (valorCtes / 1440) ^ 0.25).ToString("F2")
```

```
                End If
```

```
            Next
```

```
        End If
```

```
    End If
```

```
Next
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CalcularYMostrarEnDataGridView3()
```

```
    DataGridView3.Columns.Clear()
```

```
    DataGridView3.Rows.Clear()
```

```
    DataGridView3.Columns.Add("Hr", "Hr")
```

```
    DataGridView3.Columns.Add("min", "min")
```

```
    For j As Integer = 2 To DataGridView2.Columns.Count - 1
```

```
        Dim col As DataGridViewColumn = DataGridView2.Columns(j)
```

```
        DataGridView3.Columns.Add(col.Name, col.HeaderText)
```

```
    Next
```

```
    Dim ctesValores() As Double =
```

```
        {10.0, 20.0, 30.0, 40.0, 50.0, 60.0,
          90.0, 120.0, 240.0, 360.0, 420.0,
          480.0, 600.0, 660.0, 720.0, 1440.0}
```

```
    For i As Integer = 0 To ctesValores.Length - 1
```

```
        Dim hr As Double = ctesValores(i) / 60
```

```
        DataGridView3.Rows.Add(hr.ToString("F2"), ctesValores(i))
```

```
    Next
```

```
    For i As Integer = 0 To DataGridView2.Rows.Count - 1
```

```
        If Not DataGridView2.Rows(i).IsNewRow Then
```

```

        Dim hr As Double
        If Not Double.TryParse(DataGridView2.Rows(i).Cells(0).Value, hr) Then
Continue For
        Dim valorCtes As Double
        If Not Double.TryParse(DataGridView2.Rows(i).Cells(1).Value, valorCtes) Then
Continue For
        For j As Integer = 2 To DataGridView2.Columns.Count - 1
            Dim ultimaFila As Integer = DataGridView2.Rows.Count - 1
            If DataGridView2.AllowUserToAddRows Then ultimaFila -= 1
            Dim valorUltimo As Double

            If Double.TryParse(DataGridView2.Rows(ultimaFila).Cells(j).Value,
valorUltimo) Then
                Dim resultado As Double =
                    (valorUltimo * (valorCtes / 1440) ^ 0.25) / hr
                DataGridView3.Rows(i).Cells(j).Value = resultado.ToString("F2")
            End If
        Next
    End If
Next
End If

Next
ConfigurarEncabezadoDataGridView3()
AjustarColumnasDataGridView3()
End Sub

Private Sub LlenarDataGridView4()
    DataGridView4.Columns.Clear()
    DataGridView4.Rows.Clear()
    DataGridView4.Columns.Add("Col1", "Valor 1")
    DataGridView4.Columns.Add("Col2", "Valor 2")
    DataGridView4.Columns.Add("Col3", "Log10(Valor2)")
    DataGridView4.Columns.Add("Col4", "Log10(Valor1)")

```

```

DataGridView4.Columns.Add("Col5", "Resultado BuscarV")
DataGridView4.Columns.Add("Col6", "Log10(Resultado BuscarV)")
Dim col1() As Integer =
    {10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120,
     240, 360, 420, 480, 600, 660, 720, 1440}
Dim col2() As Integer =
    {2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200, 500, 1000}
For Each v2 In col2
    For Each v1 In col1
        Dim logValor2 As Double = Math.Log10(v2)
        Dim logValor1 As Double = Math.Log10(v1)
        Dim resultado As Object = Nothing
        Dim colIndex As Integer = -1
        For j As Integer = 2 To DataGridView3.Columns.Count - 1
            If Convert.ToInt32(DataGridView3.Columns(j).HeaderText) = v2 Then
                colIndex = j
                Exit For
            End If
        Next
        If colIndex <> -1 Then
            For Each row3 As DataGridViewRow In DataGridView3.Rows
                If row3.IsNewRow Then Continue For
                Dim filaVal As Double
                If Double.TryParse(Convert.ToString(row3.Cells(1).Value), filaVal) Then
                    If filaVal = v1 Then
                        resultado = row3.Cells(colIndex).Value
                        Exit For
                    End If
                End If
            End If
        End If
    End For
End For

```

```

        Next
    End If
    Dim logResultado As String = ""
    If resultado IsNot Nothing Then
        Dim valorNum As Double
        If Double.TryParse(Convert.ToString(resultado), valorNum) AndAlso
valorNum > 0 Then
            logResultado = Math.Log10(valorNum).ToString("F4")
        End If
    End If
    DataGridView4.Rows.Add(v1,
        v2,
        logValor2.ToString("F4"),
        logValor1.ToString("F4"),
        resultado,
        logResultado)
Next
Next
End Sub

Private Sub CalcularRegresion()
    Dim listaX1 As New List(Of Double)
    Dim listaX2 As New List(Of Double)
    Dim listaY As New List(Of Double)
    For Each row As DataGridViewRow In DataGridView4.Rows
        If row.IsNewRow Then Continue For
        If row.Cells(2).Value Is Nothing OrElse
            row.Cells(3).Value Is Nothing OrElse
            row.Cells(5).Value Is Nothing Then Continue For
        Dim x1 As Double
        Dim x2 As Double

```

```

Dim y As Double
If Double.TryParse(row.Cells(2).Value.ToString(), x1) AndAlso
    Double.TryParse(row.Cells(3).Value.ToString(), x2) AndAlso
    Double.TryParse(row.Cells(5).Value.ToString(), y) Then
    listaX1.Add(x1)
    listaX2.Add(x2)
    listaY.Add(y)
End If
Next
Dim n As Integer = listaY.Count
If n < 3 Then
    Label9.Text = "R² = -"
    Label10.Text = "RMSE = -"
    Exit Sub
End If

Dim X = Matrix(Of Double).Build.Dense(n, 3)
For i = 0 To n - 1
    X(i, 0) = 1
    X(i, 1) = listaX1(i)
    X(i, 2) = listaX2(i)
Next
Dim yVec = Vector(Of Double).Build.DenseOfEnumerable(listaY)
Dim beta =
    (X.TransposeThisAndMultiply(X)).Inverse() *
    (X.TransposeThisAndMultiply(yVec))
Dim a As Double = beta(0)
Dim b As Double = beta(1)
Dim c As Double = beta(2)
TextBox1.Text = a.ToString("F4")

```

```

    TextBox2.Text = b.ToString("F4")
    TextBox3.Text = c.ToString("F4")
    Dim K As Double = 10 ^ a
    Dim m As Double = b
    Dim nParam As Double = -c

    TextBox4.Text = K.ToString("F4")
    TextBox6.Text = nParam.ToString("F4")
    Dim Ymean As Double = listaY.Average()
    Dim SSres As Double = 0
    Dim SStot As Double = 0
    For i = 0 To listaY.Count - 1
        Dim Yestimado As Double =
            a + b * listaX1(i) + c * listaX2(i)
        SSres += (listaY(i) - Yestimado) ^ 2
        SStot += (listaY(i) - Ymean) ^ 2
    Next
    Dim R2 As Double = 1 - (SSres / SStot)
    Dim RMSE As Double = Math.Sqrt(SSres / n)
    Label9.Text = "R² = " & R2.ToString("F4")
    Label10.Text = "RMSE = " & RMSE.ToString("F4")
End Sub

Private Sub LlenarDuraciones()
    Dim duraciones() As Integer =
        {5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120}
    Dim nume() As Integer =
        {2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200, 500, 1000}
    Dim dt As New DataTable()
    dt.Columns.Add("Duración", GetType(Integer))

```

```

For Each n In nume
    dt.Columns.Add(n.ToString(), GetType(Double))
Next
If String.IsNullOrEmpty(TextBox4.Text) OrElse
    String.IsNullOrEmpty(TextBox2.Text) OrElse
    String.IsNullOrEmpty(TextBox6.Text) Then
    MessageBox.Show("Debes ingresar valores en TextBox2, TextBox3 y TextBox4")
    Exit Sub
End If
Dim D5 As Double = Double.Parse(TextBox4.Text)
Dim D6 As Double = Double.Parse(TextBox2.Text)
Dim D7 As Double = Double.Parse(TextBox6.Text)
For Each valor In duraciones
    Dim row As DataRow = dt.NewRow()
    row("Duración") = valor
    For i As Integer = 0 To nume.Length - 1
        Dim C As Double = nume(i)
        Dim resultado As Double = D5 * (C ^ D6) / (valor ^ D7)
        row(i + 1) = Math.Round(resultado, 4)
    Next
    dt.Rows.Add(row)
Next
DataGridView5.DataSource = dt
End Sub
Private Sub GraficarCurvaIDF()
    Chart1.Series.Clear()
    Chart1.ChartAreas.Clear()
    Chart1.Legends.Clear()
    Chart1.ChartAreas.Add("CurvaIDF")
    With Chart1.ChartAreas("CurvaIDF")

```

```

.AxisX.Title = "Duración (min)"
.AxisY.Title = "Intensidad (mm/h)"
.AxisX.MajorGrid.LineColor = Color.LightGray
.AxisY.MajorGrid.LineColor = Color.LightGray
.AxisX.LabelStyle.Font = New Font("Segoe UI", 8, FontStyle.Regular)
.AxisY.LabelStyle.Font = New Font("Segoe UI", 8, FontStyle.Regular)
End With
Dim leyenda As New Legend("Leyenda")
leyenda.Font = New Font("Segoe UI", 8, FontStyle.Regular)
Chart1.Legends.Add(leyenda)
Dim totalColumnas As Integer = DataGridView5.Columns.Count
For j As Integer = 1 To totalColumnas - 1
    Dim nombreSerie As String = DataGridView5.Columns(j).HeaderText
    Dim serie As New Series(nombreSerie)
    serie.Legend = "Leyenda"
    serie.LegendText = nombreSerie
    serie.ChartType = SeriesChartType.Spline
    serie.BorderWidth = 2
    serie.MarkerStyle = MarkerStyle.Circle
    serie.MarkerSize = 6
    For i As Integer = 0 To DataGridView5.Rows.Count - 1
        If Not DataGridView5.Rows(i).IsNewRow Then
            Dim xVal As Double
            Dim yVal As Double
            If Double.TryParse(DataGridView5.Rows(i).Cells(0).Value, xVal) AndAlso
                Double.TryParse(DataGridView5.Rows(i).Cells(j).Value, yVal) Then
                serie.Points.AddXY(xVal, yVal)
            End If
        End If
    End If
End For

```

```

        Next
        Chart1.Series.Add(serie)
    Next
End Sub

Private Sub Hietograma()
    DataGridView6.VirtualMode = False
    DataGridView6.Columns.Clear()
    DataGridView6.Rows.Clear()
    DataGridView6.Columns.Add("min", "min")
    DataGridView6.Columns.Add("Ctes", "mm/hr")
    DataGridView6.Columns.Add("Resultado", "mm")
    DataGridView6.Columns.Add("R3", "mm")
    DataGridView6.Columns.Add("TIEMPO", "min")
    DataGridView6.Columns.Add("Jerarquia", "")
    DataGridView6.Columns.Add("R3_2Dec", "")
    DataGridView6.Columns.Add("Secuencia", "")
    DataGridView6.Columns.Add("Col9", "mm")
    Dim maximo As Integer = Val(TextBox8.Text)
    Dim paso As Integer = Val(TextBox9.Text)
    If paso <= 0 Then paso = 1
    If maximo <= 0 Then Exit Sub
    Dim rangosInicio As New List(Of Integer)
    Dim rangosFin As New List(Of Integer)
    For i As Integer = 0 To maximo - paso Step paso
        rangosInicio.Add(i)
        rangosFin.Add(i + paso)
    Next
    Dim C4 As Double = Val(TextBox4.Text)

```

```
Dim C5 As Double = If(String.IsNullOrEmpty(TextBox7.Text), 25,
Convert.ToDouble(TextBox7.Text))
```

```
Dim C6 As Double = Val(TextBox2.Text)
```

```
Dim C7 As Double = Val(TextBox6.Text)
```

```
Dim secuencia As New List(Of Integer)
```

```
Dim totalFilas As Integer = rangosInicio.Count
```

```
For i As Integer = 1 To totalFilas Step 2
```

```
    secuencia.Add(i)
```

```
Next
```

```
If totalFilas Mod 2 = 0 Then
```

```
    secuencia.Add(totalFilas)
```

```
End If
```

```
For i As Integer = totalFilas - If(totalFilas Mod 2 = 0, 2, 1) To 2 Step -2
```

```
    secuencia.Add(i)
```

```
Next
```

```
For i As Integer = 0 To rangosInicio.Count - 1
```

```
    Dim inicioCorrecto As Integer = i * paso
```

```
    Dim finCorrecto As Integer = inicioCorrecto + paso
```

```
    Dim fin As Double = rangosFin(i)
```

```
    Dim ctes As Double = 0
```

```
    If (fin - C7) <> 0 Then
```

```
        ctes = C4 * (C5 ^ C6) / (fin ^ C7)
```

```
    End If
```

```
    Dim resultado As Double = (fin * ctes) / 60
```

```
    Dim rangoTexto As String = inicioCorrecto & "-" & finCorrecto
```

```
    Dim valorSecuencia As String = If(i < secuencia.Count, secuencia(i).ToString(), "")
```

```
    DataGridView6.Rows.Add(fin,
```

```
        ctes.ToString("F2"),
```

```
        resultado.ToString("F2"),
```

Nothing,
rangoTexto,
Nothing,
Nothing,
valorSecuencia,
Nothing)

DataGridView6.Rows(DataGridView6.Rows.Count - 1).Cells(2).Tag = resultado

Next

End Sub

Private Sub Gra1()

Chart2.Series.Clear()

Chart2.ChartAreas.Clear()

Dim chartArea As New ChartArea("Hietograma")

chartArea.AxisX.Title = "Tiempo (min)"

chartArea.AxisY.Title = "Precipitación (mm)"

chartArea.AxisX.Interval = 1

chartArea.AxisX.LabelStyle.Angle = -90

chartArea.AxisX.MajorGrid.LineColor = Color.LightGray

chartArea.AxisY.MajorGrid.LineColor = Color.LightGray

Chart2.ChartAreas.Add(chartArea)

Dim serie As New Series("Precipitación")

serie.ChartType = SeriesChartType.Column

serie.Color = Color.Orange

serie.BorderColor = Color.Black

serie.BorderWidth = 1

serie.IsValueShownAsLabel = False

For Each row As DataGridViewRow In DataGridView6.Rows

If row.Cells(4).Value IsNot Nothing AndAlso

row.Cells(8).Value IsNot Nothing AndAlso

```

        IsNumeric(row.Cells(8).Value) Then
            Dim rango As String = row.Cells(4).Value.ToString()
            Dim precipitacion As Double = Convert.ToDouble(row.Cells(8).Value)
            serie.Points.AddXY(rango, precipitacion)
        End If
    Next

    Chart2.Series.Add(serie)
    Chart2.Titles.Clear()
    Chart2.Titles.Add("Hietograma de precipitación (mm)")
    Chart2.Titles(0).Font = New Font("Segoe UI", 8, FontStyle.Bold)
End Sub

Public Sub ActualizarDesdePmax(nombreDistribucion As String)
    Distribucion.AplicarUltimoPmax(DataGridView1)
    ConfigurarDataGridView1()

    If Not String.IsNullOrEmpty(nombreDistribucion) Then
        LabelDistribucion.Text = $"Distribución: {nombreDistribucion}"
    Else
        LabelDistribucion.Text = "Distribución: -"
    End If

    Try
        LlenarDataGridView2()
        PasarValoresDeDG1aDG2()
        CalcularFormula()
        CalcularYMostrarEnDataGridView3()
        LlenarDataGridView4()
        CalcularRegresion()
        LlenarDuraciones()
        GraficarCurvaIDF()
        LlenarDataGridView6()
    Catch
    End Try
End Sub

```

```

        GraficarHietograma()
    Catch ex As Exception
    End Try
End Sub
End Class

```

Código A.5. Método de coeficientes

Formulario: Coeficiente

Módulo: Curvas IDF e hietograma de diseño mediante coeficientes de duración.

```

' Coeficientes de duración
Private Sub LlenarCoeficientesDuracion()
    DataGridView2.Columns.Clear()
    DataGridView2.Rows.Clear()
    DataGridView2.Columns.Add("Hr", "Hr")
    DataGridView2.Columns.Add("Ctes", "Ctes")
    Dim horas() As Double =
        {1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24}
    Dim coeficientes() As Double =
        {0.30, 0.39, 0.46, 0.52, 0.57, 0.61, 0.68,
        0.75, 0.80, 0.84, 0.88, 0.91, 0.94, 0.97, 1.00}
    For i As Integer = 0 To horas.Length - 1
        DataGridView2.Rows.Add(horas(i).ToString("F2"),
                               coeficientes(i).ToString("F2"))
    Next
End Sub

' Precipitación desagregada por coeficientes
Private Sub CalcularPrecipitacionesCoeficientes()
    If DataGridView1.Rows.Count = 0 Then Exit Sub
    ' DataGridView1 contiene la Pmáx de 24 h por periodo de retorno.

```

```

' Columna 0: Periodo de retorno T
' Columna 1: Pmáx 24 h
For Each filaPmax As DataGridViewRow In DataGridView1.Rows
    If filaPmax.IsNewRow Then Continue For
    Dim periodoRetorno As String = filaPmax.Cells(0).Value.ToString()
    Dim p24 As Double
    If Not Double.TryParse(filaPmax.Cells(1).Value.ToString(), p24) Then Continue

For
    If Not DataGridView2.Columns.Contains(periodoRetorno) Then
        DataGridView2.Columns.Add(periodoRetorno, periodoRetorno)
    End If

    For Each filaCoef As DataGridViewRow In DataGridView2.Rows
        If filaCoef.IsNewRow Then Continue For
        Dim coeficiente As Double
        If Double.TryParse(filaCoef.Cells("Ctes").Value.ToString(), coeficiente) Then
            ' Fórmula:
            '  $P_d = P_{24} * C$ 
            Dim precipitacion As Double = p24 * coeficiente
            filaCoef.Cells(periodoRetorno).Value =
                precipitacion.ToString("F4")
        End If
    Next
Next
End Sub

' Cálculo de intensidades
Private Sub CalcularIntensidades()
    DataGridView3.Columns.Clear()

```

```

DataGridView3.Rows.Clear()
DataGridView3.Columns.Add("Hr", "Hr")
DataGridView3.Columns.Add("Min", "min")
For j As Integer = 2 To DataGridView2.Columns.Count - 1
    DataGridView3.Columns.Add(DataGridView2.Columns(j).Name,
                             DataGridView2.Columns(j).HeaderText)
Next

For Each fila As DataGridViewRow In DataGridView2.Rows
    If fila.IsNewRow Then Continue For
    Dim horas As Double
    If Not Double.TryParse(fila.Cells("Hr").Value.ToString(), horas) Then Continue For
    If horas <= 0 Then Continue For

    Dim nuevaFila As Integer = DataGridView3.Rows.Add()

    DataGridView3.Rows(nuevaFila).Cells("Hr").Value =
        horas.ToString("F2")

    DataGridView3.Rows(nuevaFila).Cells("Min").Value =
        (horas * 60).ToString("F0")

    For j As Integer = 2 To DataGridView2.Columns.Count - 1
        Dim precipitacion As Double
        If Double.TryParse(fila.Cells(j).Value.ToString(), precipitacion) Then
            ' Intensidad:
            ' I = P / t
            Dim intensidad As Double = precipitacion / horas
            DataGridView3.Rows(nuevaFila).Cells(j).Value =
                intensidad.ToString("F4")
        End If
    Next
End For

```

```

        End If
    Next
Next
End Sub

```

' Ajuste de ecuación idf

```
Private Sub CalcularEcuacionIDF()
```

```
    Dim xDatos As New List(Of Double())
```

```
    Dim yDatos As New List(Of Double)
```

```
    For Each fila As DataGridViewRow In DataGridView3.Rows
```

```
        If fila.IsNewRow Then Continue For
```

```
        Dim duracionMin As Double
```

```
        If Not Double.TryParse(fila.Cells("Min").Value.ToString(), duracionMin) Then
Continue For

```

```
    For j As Integer = 2 To DataGridView3.Columns.Count - 1
```

```
        Dim periodoRetorno As Double
```

```
        Dim intensidad As Double
```

```
        If Double.TryParse(DataGridView3.Columns(j).HeaderText, periodoRetorno)
Also

```

```
        Double.TryParse(fila.Cells(j).Value.ToString(), intensidad) Then
```

```
        If periodoRetorno > 0 AndAlso duracionMin > 0 AndAlso intensidad > 0 Then
```

```
            ' Modelo IDF:
```

```
            '  $I = K * T^m / d^n$ 
```

```
            '  $\ln(I) = \ln(K) + m \ln(T) - n \ln(d)$ 
```

```
            xDatos.Add(New Double() {
```

```
                1,
```

```
                Math.Log(periodoRetorno),
```

```
                -Math.Log(duracionMin)
            })
    Next j
End Sub

```

```

    })

    yDatos.Add(Math.Log(intensidad))
End If
End If
Next
Next

If xDatos.Count = 0 Then Exit Sub
Dim matrizX = Matrix(Of Double).Build.DenseOfRowArrays(xDatos)
Dim vectorY = Vector(Of Double).Build.Dense(yDatos.ToArray())
Dim coeficientes =
    (matrizX.TransposeThisAndMultiply(matrizX)).Inverse() *
    matrizX.TransposeThisAndMultiply(vectorY)
Dim lnK As Double = coeficientes(0)
Dim m As Double = coeficientes(1)
Dim n As Double = coeficientes(2)
Dim K As Double = Math.Exp(lnK)
DataGridView4.Columns.Clear()
DataGridView4.Rows.Clear()
DataGridView4.Columns.Add("Parametro", "Parámetro")
DataGridView4.Columns.Add("Valor", "Valor")
DataGridView4.Rows.Add("K", K.ToString("F4"))
DataGridView4.Rows.Add("m", m.ToString("F4"))
DataGridView4.Rows.Add("n", n.ToString("F4"))
DataGridView4.Rows.Add("Ecuación IDF",
    "I = " & K.ToString("F4") &
    " * T^" & m.ToString("F4") &
    " / d^" & n.ToString("F4"))
End Sub

```

' Hietograma de diseño - bloques alternos

Private Sub CalcularHietogramaBloquesAlternos()

 DataGridView6.Columns.Clear()

 DataGridView6.Rows.Clear()

 DataGridView6.Columns.Add("Orden", "Orden")

 DataGridView6.Columns.Add("Tiempo", "Tiempo (min)")

 DataGridView6.Columns.Add("P_acumulada", "P acumulada")

 DataGridView6.Columns.Add("P_incremental", "P incremental")

 DataGridView6.Columns.Add("Bloque", "Bloque alterno")

 Dim duracionTotal As Double = 60

 Dim intervalo As Double = 5

 Dim periodoRetorno As Double = 100

 Dim K As Double = Convert.ToDouble(DataGridView4.Rows(0).Cells(1).Value)

 Dim m As Double = Convert.ToDouble(DataGridView4.Rows(1).Cells(1).Value)

 Dim n As Double = Convert.ToDouble(DataGridView4.Rows(2).Cells(1).Value)

 Dim precipitacionesAcumuladas As New List(Of Double)

 For t As Double = intervalo To duracionTotal Step intervalo

 Dim intensidad As Double =

$K * (\text{periodoRetorno}^m) / (t^n)$

 Dim precipitacionAcumulada As Double =

 intensidad * (t / 60)

 precipitacionesAcumuladas.Add(precipitacionAcumulada)

 Next

 Dim incrementales As New List(Of Double)

 For i As Integer = 0 To precipitacionesAcumuladas.Count - 1

 If i = 0 Then

 incrementales.Add(precipitacionesAcumuladas(i))

 Else

```

        incrementales.Add(precipitacionesAcumuladas(i) -
                           precipitacionesAcumuladas(i - 1))
    End If
Next

Dim bloquesOrdenados =
    incrementales.OrderByDescending(Function(x) x).ToList()
Dim hietograma(incrementales.Count - 1) As Double
Dim centro As Integer = incrementales.Count \ 2
Dim izquierda As Integer = centro - 1
Dim derecha As Integer = centro
For i As Integer = 0 To bloquesOrdenados.Count - 1
    If i Mod 2 = 0 Then
        hietograma(derecha) = bloquesOrdenados(i)
        derecha += 1
    Else
        hietograma(izquierda) = bloquesOrdenados(i)
        izquierda -= 1
    End If
Next

For i As Integer = 0 To hietograma.Length - 1
    DataGridView6.Rows.Add(i + 1,
        ((i + 1) * intervalo).ToString("F0"),
        precipitacionesAcumuladas(i).ToString("F4"),
        incrementales(i).ToString("F4"),
        hietograma(i).ToString("F4"))
Next
End Sub
End Class

```

Código A.6. Método de Frederick Bell adaptado por Yance Tueros

Formulario: Frederick

Módulo: Curvas IDF e hietograma de diseño mediante el método de Frederick Bell adaptado.

Imports MathNet.Numerics.LinearAlgebra

Public Class Frederick

Private Sub EjecutarMetodoFrederichBell()

 CalcularPrecipitacionesFrederich()

 CalcularIntensidades()

 CalcularEcuacionIDF()

 CalcularHietogramaBloquesAlternos()

End Sub

' Precipitación desagregada - Frederick Bell adaptado por Yance Tueros

Private Sub CalcularPrecipitacionesFrederich()

 DataGridView2.Columns.Clear()

 DataGridView2.Rows.Clear()

 DataGridView2.Columns.Add("Hr", "Hr")

 DataGridView2.Columns.Add("Min", "min")

 ' Duraciones de análisis en minutos

 Dim duraciones() As Double =

 {5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50,

 55, 60, 75, 90, 105, 120}

 For Each d As Double In duraciones

 DataGridView2.Rows.Add((d / 60).ToString("F2"), d.ToString("F0"))

 Next

 ' Parámetros adaptados por Yance Tueros

 Dim a As Double = 0.4602

 Dim b As Double = 0.876

```

' DataGridView1 contiene:
' Columna 0: Periodo de retorno T
' Columna 1: Pmáx 24 h

For Each filaPmax As DataGridViewRow In DataGridView1.Rows
    If filaPmax.IsNewRow Then Continue For
    Dim periodoRetorno As Double
    Dim p24 As Double
    If Not Double.TryParse(filaPmax.Cells(0).Value.ToString(), periodoRetorno) Then
Continue For
    If Not Double.TryParse(filaPmax.Cells(1).Value.ToString(), p24) Then Continue
For
    Dim nombreColumna As String = periodoRetorno.ToString("F0")
    If Not DataGridView2.Columns.Contains(nombreColumna) Then
        DataGridView2.Columns.Add(nombreColumna, nombreColumna)
    End If

' Estimación de la precipitación base
Dim p60_10 As Double = a * (p24 ^ b)

For Each filaDuracion As DataGridViewRow In DataGridView2.Rows
    If filaDuracion.IsNewRow Then Continue For
    Dim duracionMin As Double
    If Double.TryParse(filaDuracion.Cells("Min").Value.ToString(), duracionMin)
Then
        ' Fórmula de Frederich Bell adaptada:
        '  $P_{t,T} = (0.21 \ln(T) + 0.52) * (0.54 t^{0.25} - 0.50) * P_{60,10}$ 
        Dim factorRetorno As Double =
            0.21 * Math.Log(periodoRetorno) + 0.52
        Dim factorDuracion As Double =

```

```

        0.54 * (duracionMin ^ 0.25) - 0.50
    Dim precipitacion As Double =
        factorRetorno * factorDuracion * p60_10
    filaDuracion.Cells(nombreColumna).Value =
        precipitacion.ToString("F4")
End If
Next
Next
End Sub

```

' Cálculo de intensidades

```

Private Sub CalcularIntensidades()
    DataGridView3.Columns.Clear()
    DataGridView3.Rows.Clear()
    DataGridView3.Columns.Add("Hr", "Hr")
    DataGridView3.Columns.Add("Min", "min")
    For j As Integer = 2 To DataGridView2.Columns.Count - 1
        DataGridView3.Columns.Add(DataGridView2.Columns(j).Name,
            DataGridView2.Columns(j).HeaderText)
    Next
    For Each fila As DataGridViewRow In DataGridView2.Rows
        If fila.IsNewRow Then Continue For
        Dim duracionMin As Double
        If Not Double.TryParse(fila.Cells("Min").Value.ToString(), duracionMin) Then
            Continue For
        If duracionMin <= 0 Then Continue For
        Dim nuevaFila As Integer = DataGridView3.Rows.Add()
        DataGridView3.Rows(nuevaFila).Cells("Hr").Value =
            (duracionMin / 60).ToString("F2")
        DataGridView3.Rows(nuevaFila).Cells("Min").Value =

```

```

        duracionMin.ToString("F0")
    For j As Integer = 2 To DataGridView2.Columns.Count - 1
        Dim precipitacion As Double
        If Double.TryParse(fila.Cells(j).Value.ToString(), precipitacion) Then
            ' Intensidad:
            '  $I = P / (t / 60)$ 
            Dim intensidad As Double =
                precipitacion / (duracionMin / 60)
            DataGridView3.Rows(nuevaFila).Cells(j).Value =
                intensidad.ToString("F4")
        End If
    Next
Next
End Sub

```

```

' Ajuste de la ecuación IDF
Private Sub CalcularEcuacionIDF()
    Dim xDatos As New List(Of Double())
    Dim yDatos As New List(Of Double)
    For Each fila As DataGridViewRow In DataGridView3.Rows
        If fila.IsNewRow Then Continue For
        Dim duracionMin As Double
        If Not Double.TryParse(fila.Cells("Min").Value.ToString(), duracionMin) Then
            Continue For
        End If
        For j As Integer = 2 To DataGridView3.Columns.Count - 1
            Dim periodoRetorno As Double
            Dim intensidad As Double
            If Double.TryParse(DataGridView3.Columns(j).HeaderText, periodoRetorno)
                AndAlso
                Double.TryParse(fila.Cells(j).Value.ToString(), intensidad) Then

```

```

If periodoRetorno > 0 AndAlso duracionMin > 0 AndAlso intensidad > 0 Then
    ' Modelo IDF:
    '  $I = K * T^m / d^n$ 
    '  $\ln(I) = \ln(K) + m \ln(T) - n \ln(d)$ 
    xDatos.Add(New Double() {
        1,
        Math.Log(periodoRetorno),
        -Math.Log(duracionMin)
    })
    yDatos.Add(Math.Log(intensidad))
End If
End If
Next
Next

```

```

If xDatos.Count = 0 Then Exit Sub
Dim matrizX = Matrix(Of Double).Build.DenseOfRowArrays(xDatos)
Dim vectorY = Vector(Of Double).Build.Dense(yDatos.ToArray())
Dim coeficientes =
    (matrizX.TransposeThisAndMultiply(matrizX)).Inverse() *
    matrizX.TransposeThisAndMultiply(vectorY)
Dim lnK As Double = coeficientes(0)
Dim m As Double = coeficientes(1)
Dim n As Double = coeficientes(2)
Dim K As Double = Math.Exp(lnK)
DataGridView4.Columns.Clear()
DataGridView4.Rows.Clear()
DataGridView4.Columns.Add("Parametro", "Parámetro")
DataGridView4.Columns.Add("Valor", "Valor")
DataGridView4.Rows.Add("K", K.ToString("F4"))

```

```

DataGridView4.Rows.Add("m", m.ToString("F4"))
DataGridView4.Rows.Add("n", n.ToString("F4"))
DataGridView4.Rows.Add("Ecuación IDF",
    "I = " & K.ToString("F4") &
    " * T^" & m.ToString("F4") &
    " / d^" & n.ToString("F4"))

```

End Sub

' Hietograma de diseño - bloques alternos

```

Private Sub CalcularHietogramaBloquesAlternos()
    DataGridView6.Columns.Clear()
    DataGridView6.Rows.Clear()
    DataGridView6.Columns.Add("Orden", "Orden")
    DataGridView6.Columns.Add("Tiempo", "Tiempo (min)")
    DataGridView6.Columns.Add("P_acumulada", "P acumulada")
    DataGridView6.Columns.Add("P_incremental", "P incremental")
    DataGridView6.Columns.Add("BloqueAlternos", "Bloque alterno")
    Dim duracionTotal As Double = 60
    Dim intervalo As Double = 5
    Dim periodoRetorno As Double = 100
    Dim K As Double = Convert.ToDouble(DataGridView4.Rows(0).Cells(1).Value)
    Dim m As Double = Convert.ToDouble(DataGridView4.Rows(1).Cells(1).Value)
    Dim n As Double = Convert.ToDouble(DataGridView4.Rows(2).Cells(1).Value)
    Dim precipitacionesAcumuladas As New List(Of Double)
    For t As Double = intervalo To duracionTotal Step intervalo
        Dim intensidad As Double =
            K * (periodoRetorno ^ m) / (t ^ n)
        Dim precipitacionAcumulada As Double =
            intensidad * (t / 60)
        precipitacionesAcumuladas.Add(precipitacionAcumulada)
    Next t

```

```

Next
Dim incrementales As New List(Of Double)
For i As Integer = 0 To precipitacionesAcumuladas.Count - 1
    If i = 0 Then
        incrementales.Add(precipitacionesAcumuladas(i))
    Else
        incrementales.Add(precipitacionesAcumuladas(i) -
            precipitacionesAcumuladas(i - 1))
    End If
Next
Dim bloquesOrdenados =
    incrementales.OrderByDescending(Function(x) x).ToList()
Dim hietograma(incrementales.Count - 1) As Double
Dim centro As Integer = incrementales.Count \ 2
Dim izquierda As Integer = centro - 1
Dim derecha As Integer = centro
For i As Integer = 0 To bloquesOrdenados.Count - 1
    If i Mod 2 = 0 Then
        hietograma(derecha) = bloquesOrdenados(i)
        derecha += 1
    Else
        hietograma(izquierda) = bloquesOrdenados(i)
        izquierda -= 1
    End If
Next

For i As Integer = 0 To hietograma.Length - 1
    DataGridView6.Rows.Add(i + 1,
        ((i + 1) * intervalo).ToString("F0"),
        precipitacionesAcumuladas(i).ToString("F4"),

```

```

                                incrementales(i).ToString("F4"),
                                hietograma(i).ToString("F4"))
        Next
    End Sub
End Class

```

Código A.7. Método IILA–SENAMHI–UNI

Formulario: Ilasenami

Módulo: Curvas IDF e hietograma de diseño mediante el método IILA–SENAMHI–UNI.

Imports MathNet.Numerics.LinearAlgebra

Public Class Ilasenami

Private Sub EjecutarMetodoIILASENAMHI()

CalcularIntensidadesIILA()

CalcularEcuacionIDF()

CalcularHietogramaBloquesAlternos()

End Sub

' cálculo de intensidades - método iila senamhi

Private Sub CalcularIntensidadesIILA()

DataGridView6.Columns.Clear()

DataGridView6.Rows.Clear()

DataGridView6.Columns.Add("Duracion", "Duración (min)")

Dim periodos() As Double =

{2, 5, 10, 25, 50, 100, 140}

For Each T As Double In periodos

DataGridView6.Columns.Add("T" & T.ToString("F0"),

T.ToString("F0") & " años")

Next

Dim duraciones() As Double =

{10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120,

180, 240, 360, 720, 1440}

```

' Parámetros regionales del método IILA-SENAMHI
Dim a As Double = Convert.ToDouble(TextBoxA.Text)
Dim b As Double = Convert.ToDouble(TextBoxB.Text)
Dim kprima As Double = Convert.ToDouble(TextBoxK.Text)
Dim n As Double = Convert.ToDouble(TextBoxN.Text)
For Each d As Double In duraciones
    Dim fila As Integer = DataGridView6.Rows.Add()
    DataGridView6.Rows(fila).Cells(0).Value = d.ToString("F0")
    For j As Integer = 0 To periodos.Length - 1
        Dim T As Double = periodos(j)
        ' Ecuación regional de intensidad
        Dim intensidad As Double =
            (a * (1 + kprima * Math.Log(T))) / ((d + b) ^ n)
        DataGridView6.Rows(fila).Cells(j + 1).Value =
            intensidad.ToString("F4")
    Next
Next
End Sub

' Ajuste de ecuación IDF
Private Sub CalcularEcuacionIDF()
    Dim xDatos As New List(Of Double())
    Dim yDatos As New List(Of Double)
    For Each fila As DataGridViewRow In DataGridView6.Rows

        If fila.IsNewRow Then Continue For

        Dim duracion As Double
        If Not Double.TryParse(fila.Cells(0).Value.ToString(), duracion) Then Continue For

        For j As Integer = 1 To DataGridView6.Columns.Count - 1
            Dim periodo As Double =

```

```

        Val(DataGridView6.Columns(j).HeaderText.Replace("años", "").Trim())
Dim intensidad As Double
If Double.TryParse(fila.Cells(j).Value.ToString(), intensidad) Then
    If duracion > 0 AndAlso periodo > 0 AndAlso intensidad > 0 Then
        ' Modelo IDF:
        '  $I = K * T^m / d^n$ 
        '  $\ln(I) = \ln(K) + m \ln(T) - n \ln(d)$ 
        xDatos.Add(New Double() {
            1,
            Math.Log(periodo),
            -Math.Log(duracion)
        })
        yDatos.Add(Math.Log(intensidad))
    End If
End If
Next
Next

If xDatos.Count = 0 Then Exit Sub
Dim matrizX = Matrix(Of Double).Build.DenseOfRowArrays(xDatos)
Dim vectorY = Vector(Of Double).Build.Dense(yDatos.ToArray())
Dim coeficientes =
    (matrizX.TransposeThisAndMultiply(matrizX)).Inverse() *
    matrizX.TransposeThisAndMultiply(vectorY)

Dim K As Double = Math.Exp(coeficientes(0))
Dim m As Double = coeficientes(1)
Dim n As Double = coeficientes(2)
DataGridView1.Columns.Clear()
DataGridView1.Rows.Clear()

```

```

DataGridView1.Columns.Add("Parametro", "Parámetro")
DataGridView1.Columns.Add("Valor", "Valor")
DataGridView1.Rows.Add("K", K.ToString("F4"))
DataGridView1.Rows.Add("m", m.ToString("F4"))
DataGridView1.Rows.Add("n", n.ToString("F4"))
DataGridView1.Rows.Add("Ecuación IDF",
    "I = " & K.ToString("F4") &
    " * T^" & m.ToString("F4") &
    " / d^" & n.ToString("F4"))
End Sub

```

' Hietograma de diseño - bloques alternos

```

Private Sub CalcularHietogramaBloquesAlternos()
    DataGridView2.Columns.Clear()
    DataGridView2.Rows.Clear()
    DataGridView2.Columns.Add("Orden", "Orden")
    DataGridView2.Columns.Add("Tiempo", "Tiempo (min)")
    DataGridView2.Columns.Add("P_Acumulada", "P acumulada")
    DataGridView2.Columns.Add("P_Incremental", "P incremental")
    DataGridView2.Columns.Add("Bloque", "Bloque alterno")
    Dim duracionTotal As Double = 60
    Dim intervalo As Double = 5
    Dim periodoRetorno As Double = 100

    Dim K As Double = Convert.ToDouble(DataGridView1.Rows(0).Cells(1).Value)
    Dim m As Double = Convert.ToDouble(DataGridView1.Rows(1).Cells(1).Value)
    Dim n As Double = Convert.ToDouble(DataGridView1.Rows(2).Cells(1).Value)
    Dim acumuladas As New List(Of Double)
    For t As Double = intervalo To duracionTotal Step intervalo
        Dim intensidad As Double =

```

```

        K * (periodoRetorno ^ m) / (t ^ n)
Dim precipitacion As Double =
    intensidad * (t / 60)
    acumuladas.Add(precipitacion)
Next

Dim incrementales As New List(Of Double)
For i As Integer = 0 To acumuladas.Count - 1
    If i = 0 Then
        incrementales.Add(acumuladas(i))
    Else
        incrementales.Add(acumuladas(i) - acumuladas(i - 1))
    End If
Next

Dim bloquesOrdenados =
    incrementales.OrderByDescending(Function(x) x).ToList()
Dim hietograma(incrementales.Count - 1) As Double
Dim centro As Integer = incrementales.Count \ 2
Dim izquierda As Integer = centro - 1
Dim derecha As Integer = centro
For i As Integer = 0 To bloquesOrdenados.Count - 1

    If i Mod 2 = 0 Then
        hietograma(derecha) = bloquesOrdenados(i)
        derecha += 1
    Else
        hietograma(izquierda) = bloquesOrdenados(i)
        izquierda -= 1
    End If
Next

```

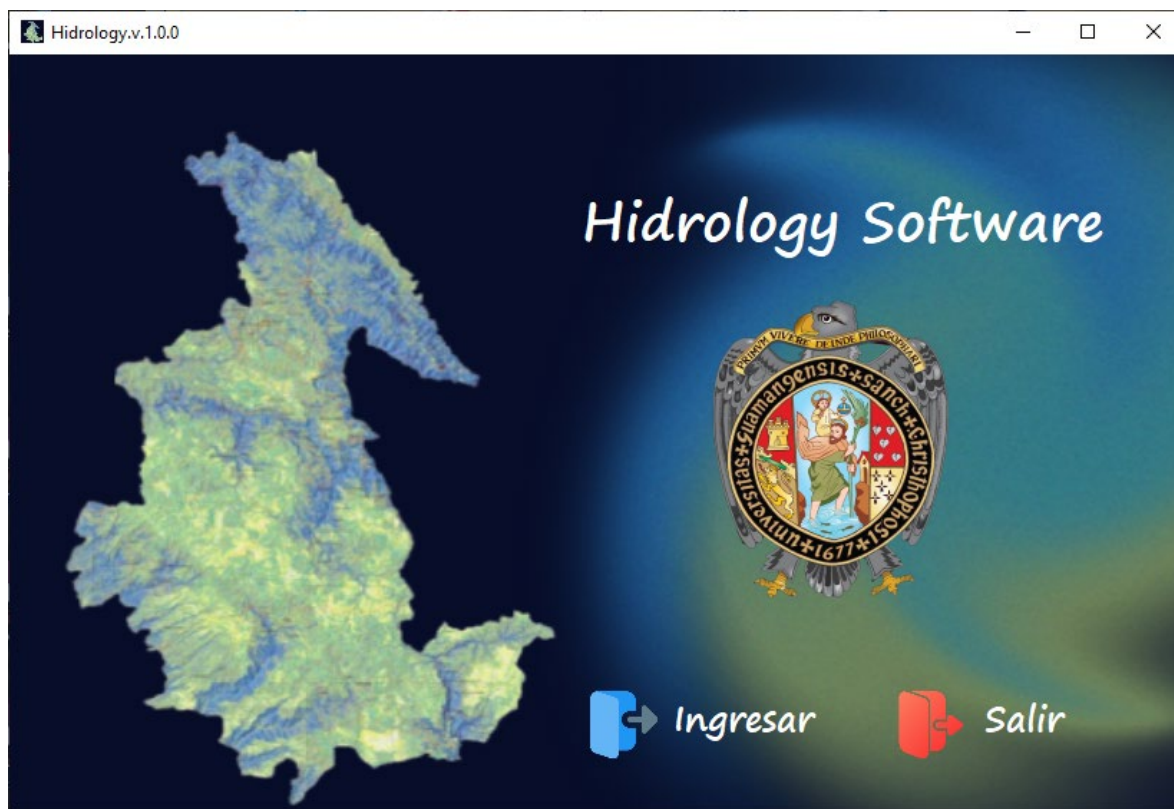
```
For i As Integer = 0 To hietograma.Length - 1
    DataGridView2.Rows.Add(i + 1,
        ((i + 1) * intervalo).ToString("F0"),
        acumuladas(i).ToString("F4"),
        incrementales(i).ToString("F4"),
        hietograma(i).ToString("F4"))
Next
End Sub
End Class
```

Anexo 2: Manual de usuario

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA HIDROLOGY.V.1.0.0

PRESENTADO POR:

Bach. Jhonatan Crispin Cuya Alca

Ayacucho - Perú

2026

ÍNDICE GENERAL

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	197
<i>ÍNDICE DE TABLAS</i>	199
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	200
1. <i>Introducción</i>	203
2. <i>Requerimientos del programa para la instalación y funcionamiento</i>	203
3. <i>Instalación del programa</i>	203
4. <i>Interfaz del programa</i>	204
4.1. <i>Presentación del software</i>	206
4.2. <i>Registro de información de la estación</i>	207
4.3. <i>Carga de datos desde Excel</i>	208
4.4. <i>Validación y cálculo</i>	210
4.5. <i>Análisis de datos dudosos</i>	211
4.6. <i>Análisis estadístico</i>	212
4.7. <i>Distribuciones de probabilidad</i>	214
4.8. <i>Pruebas de bondad de ajuste</i>	216
4.9. <i>Precipitación con mejor ajuste</i>	217
4.10. <i>Métodos IDF</i>	218
4.10.1. <i>Método de Dick Peschke</i>	218

4.10.2.	Método de coeficientes	221
4.10.3.	Método de Frederick Bell adaptado por Yance Tueros.....	223
4.11.	Método IILA-SENAMHI–UNI	226
4.12.	Gestión de resultados, exportación PDF y Txt	229
4.13.	Herramientas, mapa de subzona, Google Earth y ayuda	231
5.	<i>Recomendaciones de uso</i>	232

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. *Requerimientos mínimos y recomendados del programa.* 218

Tabla 4-1. *menús, botones y comandos principales del programa.* 219

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1. <i>Ventana de inicio del programa Hidrology v.1.0.0.</i>	206
Figura 4-2. <i>Interfaz principal del programa.</i>	207
Figura 4-3. <i>Visualización de datos de precipitación máxima de 24 horas.</i>	210
Figura 4-4. <i>Botón Validar del programa.</i>	210
Figura 4-5. <i>Botón Calcular del programa.</i>	211
Figura 4-6. <i>Barra de procesamiento durante el cálculo.</i>	211
Figura 4-7. <i>Resultados del análisis estadístico de la serie.</i>	213
Figura 4-8. <i>Parámetros estadísticos de la serie de precipitación máxima de 24 horas.</i> .	214
Figura 4-9. <i>Parámetros de distribuciones estimados por momentos ordinarios.</i>	215
Figura 4-10. <i>Gráfico de distribución acumulada para la prueba Kolmogorov-Smirnov.</i>	215
Figura 4-11. <i>Gráfico de frecuencias observadas y teóricas para la prueba Chi-cuadrado.</i>	216
Figura 4-12. <i>Resultados de bondad de ajuste mediante Kolmogorov-Smirnov.</i>	216
Figura 4-13. <i>Resultados de bondad de ajuste mediante Chi-cuadrado.</i>	217
Figura 4-14. <i>Resultados de bondad de ajuste mediante Anderson-Darling</i>	217
Figura 4-15. <i>Precipitación máxima corregida con la distribución de mejor ajuste.</i>	218
Figura 4-16. <i>Precipitaciones máximas obtenidas mediante el método de Dick Peschke.</i>	219

Figura 4-17. <i>Intensidades máximas obtenidas mediante el método de Dick Peschke.</i>	219
Figura 4-18. <i>Curvas IDF obtenidas mediante el método de Dick Peschke.</i>	220
Figura 4-19. <i>Hietograma de diseño obtenido mediante el método de Dick Peschke.</i>	220
Figura 4-20. <i>Mensaje de advertencia para aplicar Dick Peschke en duraciones mayores.</i>	221
Figura 4-21. <i>Precipitaciones máximas obtenidas mediante el método de Coeficientes.</i> ...	221
Figura 4-22. <i>Intensidades máximas obtenidas mediante el método de Coeficientes.</i>	222
Figura 4-23. <i>Curvas IDF obtenidas mediante el método de Coeficientes.</i>	222
Figura 4-24. <i>Hietograma de diseño obtenido mediante el método de Coeficientes.</i>	223
Figura 4-25. <i>Precipitaciones máximas obtenidas mediante el método de Frederich Bell.</i>	224
Figura 4-26. <i>Intensidades máximas obtenidas mediante el método de Frederich Bell.</i> ...	224
Figura 4-27. <i>Curvas IDF obtenidas mediante el método de Frederich Bell.</i>	225
Figura 4-28. <i>Hietograma de diseño obtenido mediante el método de Frederich Bell.</i>	226
Figura 4-29. <i>Ingreso de zona, subzona y parámetros del método IILA-SENAMHI-UNI.</i> .	227
Figura 4-30. <i>Intensidades máximas obtenidas mediante el método IILA-SENAMHI-UNI.</i>	227
Figura 4-31. <i>Curvas IDF obtenidas mediante el método IILA-SENAMHI-UNI.</i>	228
Figura 4-32. <i>Hietograma de diseño obtenido mediante el método IILA-SENAMHI-UNI.</i>	228
Figura 4-33. <i>Ventana para guardar proyecto HydroSoft.</i>	229

Figura 4-34. <i>Ventana de resultados del programa</i>	229
Figura 4-35. <i>Ventana para guardar el reporte en PDF</i>	230
Figura 4-36. <i>Ventana para guardar el reporte de hietograma en Txt</i>	230
Figura 4-37. <i>Menú de herramientas para abrir mapa de subzona en Google Earth</i>	231
Figura 4-38. <i>Menú de ayuda del programa</i>	231
Figura 4-39. <i>Ventana de autor del programa Hidrology v.1.0.0</i>	232

1. Introducción

Hidrology v.1.0.0 es un programa desarrollado para apoyar el análisis hidrológico de datos de precipitación máxima en 24 horas. Permite registrar información de la estación, cargar datos desde Excel, validar la serie, realizar pruebas estadísticas, ajustar distribuciones de probabilidad y obtener curvas IDF e hietogramas de diseño.

Este manual tiene como propósito guiar al usuario en el uso del software, explicando de manera ordenada las ventanas, menús, botones y procedimientos necesarios para realizar un análisis completo, desde el ingreso de datos hasta la generación del reporte final en PDF.

Para una mejor comprensión, se incluyen capturas de pantalla enumeradas como figuras, acompañadas de una breve explicación sobre la función de cada módulo y las acciones que debe realizar el usuario.

2. Requerimientos del programa para la instalación y funcionamiento

Para instalar y usar Hidrology v.1.0.0, se recomienda contar con un equipo que cumpla con los requisitos básicos de funcionamiento, como sistema operativo compatible, memoria suficiente y una adecuada visualización de pantalla. Esto permitirá cargar datos, realizar los cálculos y generar gráficos y reportes sin inconvenientes.

Los datos principales del programa corresponden a una serie anual de precipitación máxima en 24 horas, donde cada registro debe incluir el año y la precipitación en milímetros. Antes de iniciar el análisis, es importante verificar que la información esté completa, sin celdas vacías, textos en campos numéricos ni valores repetidos.

3. Instalación del programa

La instalación del programa debe realizarse desde la carpeta de distribución proporcionada por el desarrollador. En dicha carpeta deben mantenerse el ejecutable, los recursos gráficos, el manual de usuario, los archivos auxiliares y, si corresponde, los mapas o archivos KMZ utilizados para la identificación de zonas y subzonas pluviométricas.

El procedimiento general de instalación es el siguiente:

- a) Abrir la carpeta donde se encuentra el instalador o el archivo ejecutable del programa.
- b) Ejecutar el instalador o el archivo principal de Hidrology v.1.0.0.
- c) Aceptar los permisos solicitados por el sistema operativo Windows.
- d) Seleccionar la carpeta de destino o conservar la ruta predeterminada.
- e) Finalizar la instalación y crear, si se desea, un acceso directo en el escritorio.
- f) Ejecutar el programa desde el acceso directo o desde la carpeta de instalación.

Tabla 3-1. *Requerimientos mínimos y recomendados del programa.*

Requisito	Especificación recomendada
Sistema operativo	Windows 10 o superior, de preferencia en arquitectura de 64 bits.
Procesador	Intel Core i3 o equivalente como mínimo.
Memoria RAM	4 GB como mínimo; se recomienda 8 GB para un mejor rendimiento.
Espacio libre en disco	500 MB como mínimo para el programa, archivos auxiliares y reportes.
Software complementario	Lector de PDF, Microsoft Excel o aplicación compatible con archivos .xlsx, y navegador web.
Herramientas opcionales	Google Earth o visor compatible para abrir archivos KMZ o mapas de subzona.

Si el programa se distribuye como carpeta portable, el usuario debe evitar mover o eliminar las subcarpetas internas, debido a que estas pueden contener archivos necesarios para abrir el manual, mapas, reportes, imágenes o recursos del sistema.

4. Interfaz del programa

La interfaz de Hidrology v.1.0.0 está organizada mediante una ventana de inicio, una ventana principal con barra de menús y herramientas, formularios de ingreso de datos, módulos de cálculo, pestañas de resultados y opciones de exportación. La estructura del software permite desarrollar el análisis de forma ordenada, empezando por la información de la estación y finalizando con la generación del reporte.

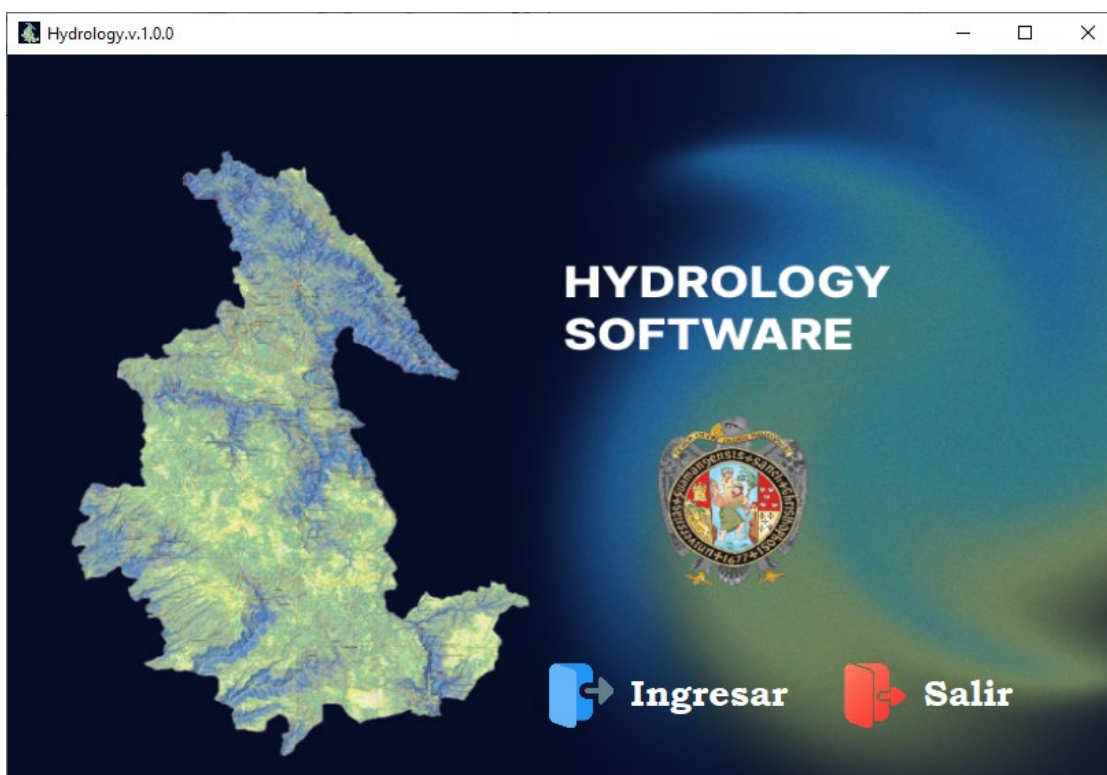
Tabla 4-1. *menús, botones y comandos principales del programa.*

Menú, botón o control	Función principal
Ingresar	Permite acceder desde la ventana de inicio hacia la interfaz principal del programa.
Salir	Cierra la ventana de inicio o finaliza la ejecución del programa.
Nuevo	Prepara el entorno para iniciar un nuevo proyecto o análisis.
Abrir	Permite abrir archivos propios del programa, además de redirigir a la carpeta de ejemplos.
Archivo > Nuevo	Prepara el entorno para iniciar un nuevo proyecto o análisis.
Archivo > Carga Datos > Pp Máx. 24h	Permite seleccionar e importar el archivo Excel con la serie de precipitación máxima de 24 horas.
Guardar	Almacena la información del proyecto o de la estación ingresada por el usuario.
Validar	Revisa la consistencia básica de los datos cargados antes de ejecutar los cálculos.
Calcular	Ejecuta los procesos estadísticos e hidrológicos configurados en el programa.
Reporte > Ver Resultados	Abre la ventana de resultados generales del análisis.
Guardar reporte en PDF	Permite seleccionar la ruta y nombre del archivo PDF del reporte final.
Exportar TXT	Exporta los resultados del hietograma en formato de texto.
Herramientas > Mapa de Subzona > Google Earth	Abre el recurso geográfico asociado a la identificación de zonas o subzonas.
Ayuda > Autor	Muestra la ventana con información del autor del programa.
Ayuda > Acerca de Hidrology	Esta opción nos lleva hasta el manual de usuario..

4.1. Presentación del software.

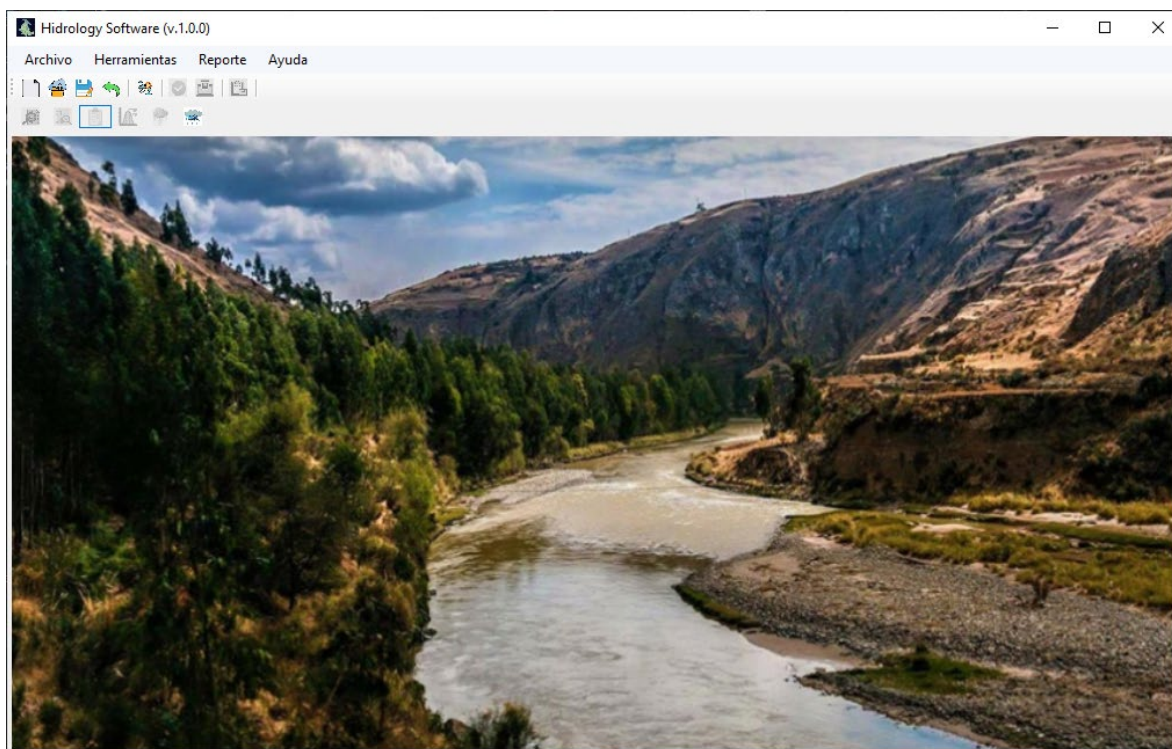
Al ejecutar el programa se muestra la ventana de inicio. Esta pantalla funciona como presentación del software y permite al usuario decidir si ingresa al sistema o si cierra la aplicación. Para continuar con el proceso de análisis se debe presionar el botón Ingresar.

Figura 4-1. Ventana de inicio del programa Hidrology v.1.0.0.



Luego de ingresar, el programa muestra la interfaz principal, compuesta por la barra de menús, la barra de herramientas y el área de trabajo. Desde esta ventana se accede a las opciones de archivo, herramientas, reporte y ayuda. Asimismo, se visualizan los botones de acceso rápido que permiten cargar datos, validar, calcular y consultar resultados.

Figura 4-2. *Interfaz principal del programa.*



4.2. Registro de información de la estación.

El registro de información de la estación permite documentar los datos generales del punto de análisis. Esta información es importante porque identifica la fuente de datos utilizada, la ubicación política y geográfica de la estación, el periodo de análisis y la variable hidrológica evaluada.

La ventana contiene campos para ingresar el nombre de la estación, código, departamento, provincia, distrito, cuenca, latitud, longitud, altitud, fuente de datos, periodo de análisis, variable analizada y observaciones. Una vez completados los campos, el usuario debe presionar Guardar para almacenar la información.

En la figura 4-3, se muestra un ejemplo de la estación registrada que corresponde a Huanta, ubicada en el departamento de Ayacucho, provincia y distrito de Huanta. La fuente de datos es SENAMHI y el periodo de análisis comprende los años 1992 a 2018, considerando como variable la precipitación máxima de 24 horas.

Figura 4-2. Registro completo de la información de la estación.

Hidrology Software (v.1.0.0)

Archivo Herramientas Reporte Ayuda

Información de la Estación

1

INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN

Nombre de estación: Huanta

Código de estación:

Departamento: Ayacucho

Provincia: Huanta

Distrito: Huanta

Cuenca:

UBICACIÓN

Latitud: 12°55'38.7"

Longitud: 12°55'38.7"

Altitud (m s.n.m.): 2542

DATOS DE ANÁLISIS

Fuente de datos: SENAMHI

Periodo de análisis: 1992 - 2019

Variable analizada: Precipitación máxima de 24 horas

Observaciones:

2

Guardar Limpiar Cerrar

Figura 4-3. Mensaje de confirmación de guardado de información de la estación.

UBICACIÓN

Latitud:

Longitud:

Altitud (m s.n.m.):

DATOS DE ANÁLISIS

Información de la estación

Información de la estación guardada correctamente.

Aceptar

4.3. Carga de datos desde Excel.

La carga de datos se realiza desde el menú Archivo. Para importar la serie de precipitación máxima de 24 horas, el usuario debe seleccionar Archivo > Carga Datos > Pp Máx. 24h. Luego, se abrirá una ventana para buscar y elegir el archivo Excel correspondiente.

El archivo debe estar en formato .xlsx y contener los registros anuales de precipitación máxima en milímetros. Antes de cargarlo, se recomienda revisar que las columnas estén ordenadas y que los datos sean correctos.

Figura 4-4. Menú para subir datos de precipitación máxima de 24 horas.

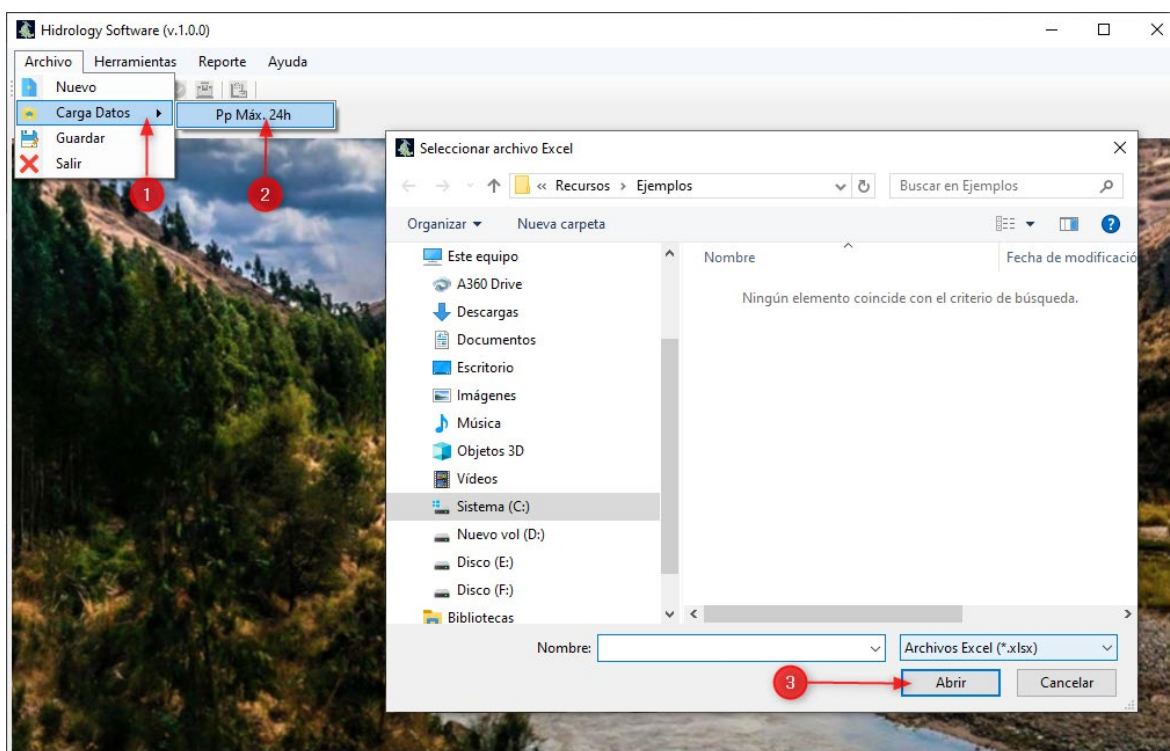
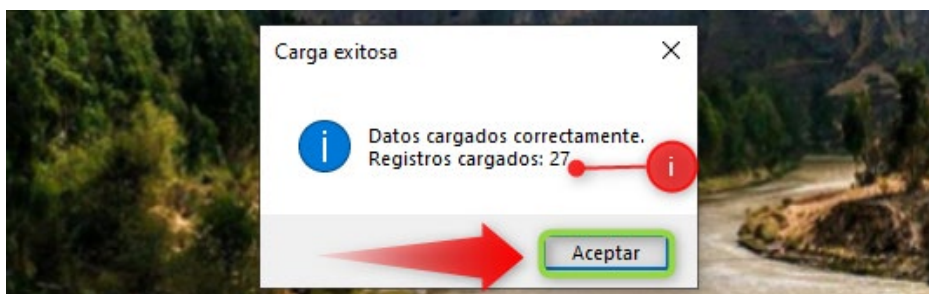
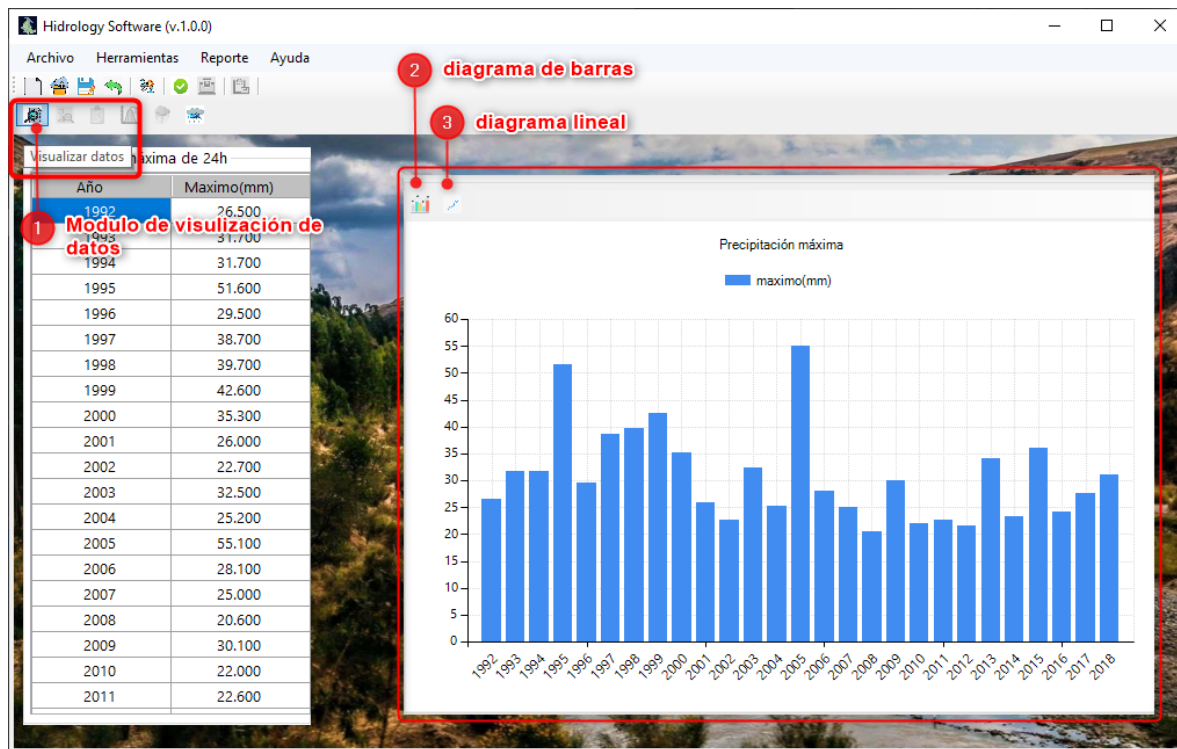


Figura 4-5. Mensaje de carga exitosa de datos.



Después de importar la información, la tabla principal muestra los años y los valores de precipitación máxima de 24 horas. De forma simultánea, el programa genera un gráfico de barras que permite verificar visualmente la variación anual de la precipitación máxima.

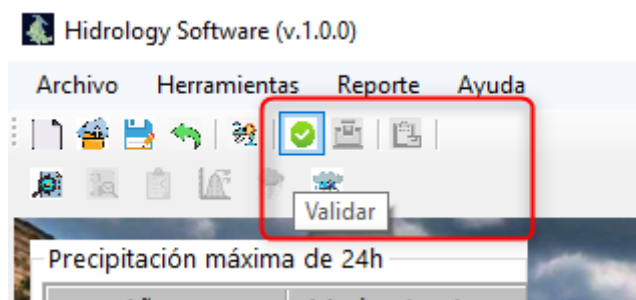
Figura 4-3. Visualización de datos de precipitación máxima de 24 horas.



4.4. Validación y cálculo.

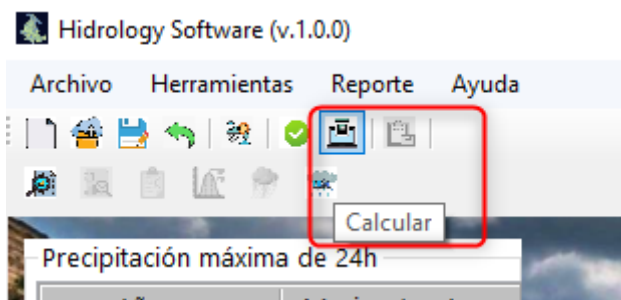
Luego de cargar los datos, el usuario debe utilizar las herramientas de validación y cálculo. El botón Validar permite revisar la consistencia inicial de la información cargada. Esta acción es recomendable antes de ejecutar cualquier procedimiento estadístico o hidrológico.

Figura 4-4. Botón Validar del programa.



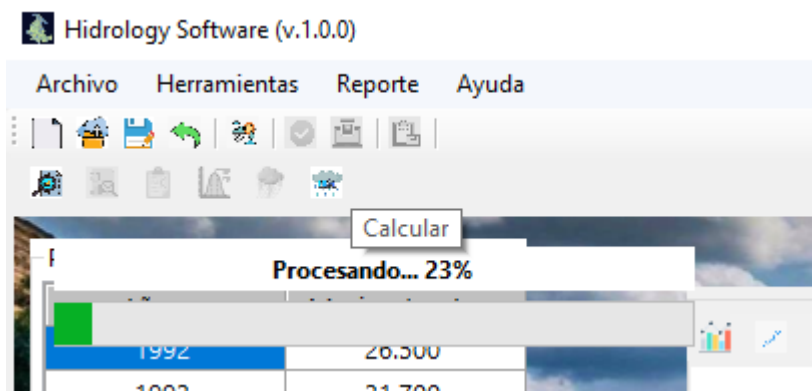
El botón Calcular ejecuta los procedimientos configurados en el programa. Dependiendo del módulo activo, esta acción puede generar resultados estadísticos, parámetros de distribuciones, curvas IDF o hietogramas de diseño.

Figura 4-5. *Botón Calcular del programa.*



Durante el proceso de cálculo, el programa puede mostrar una barra de progreso que indica el avance del procesamiento. Se recomienda esperar a que el proceso termine antes de cambiar de ventana o ejecutar otro comando.

Figura 4-6. *Barra de procesamiento durante el cálculo.*

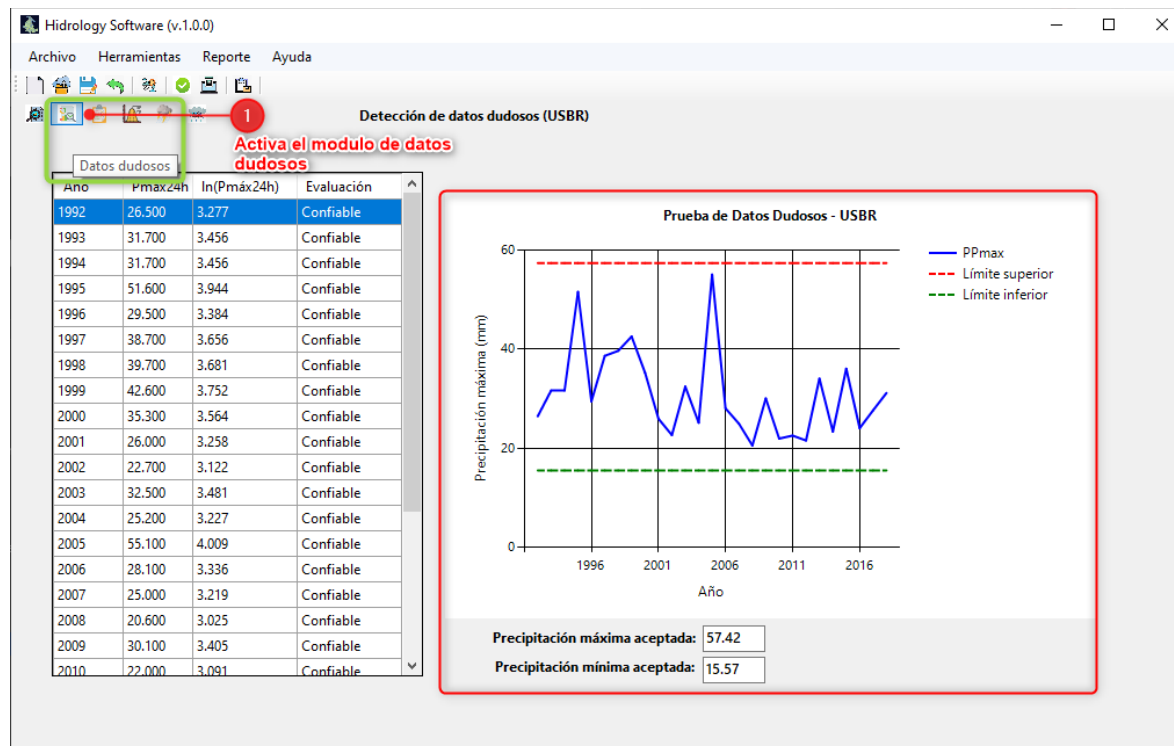


4.5. Análisis de datos dudosos

Este módulo permite detectar posibles valores atípicos en la serie de precipitación máxima de 24 horas. Con ello, el usuario puede identificar datos demasiado altos o bajos que podrían influir en los resultados del análisis.

La tabla muestra los datos evaluados, los límites del método USBR y la condición de cada valor. Si el programa identifica un dato dudoso, este debe revisarse antes de continuar con el análisis probabilístico.

Figura 4-1. Resultados del análisis de datos dudosos.



4.6. Análisis estadístico.

El módulo de análisis estadístico permite evaluar el comportamiento de la serie de precipitación máxima de 24 horas mediante pruebas de aleatoriedad, independencia, homogeneidad y tendencia. Estas pruebas sirven para verificar si la serie presenta condiciones adecuadas para continuar con el análisis probabilístico.

La tabla de resultados incluye el criterio evaluado, la prueba aplicada, el estadístico calculado, el valor crítico y la decisión correspondiente. El usuario debe revisar la columna Resultado, donde el programa indica si la prueba se acepta o se rechaza según el nivel de significancia considerado.

Figura 4-7. Resultados del análisis estadístico de la serie.



Para continuar con el módulo de distribuciones de probabilidad, los resultados deben interpretarse en conjunto.

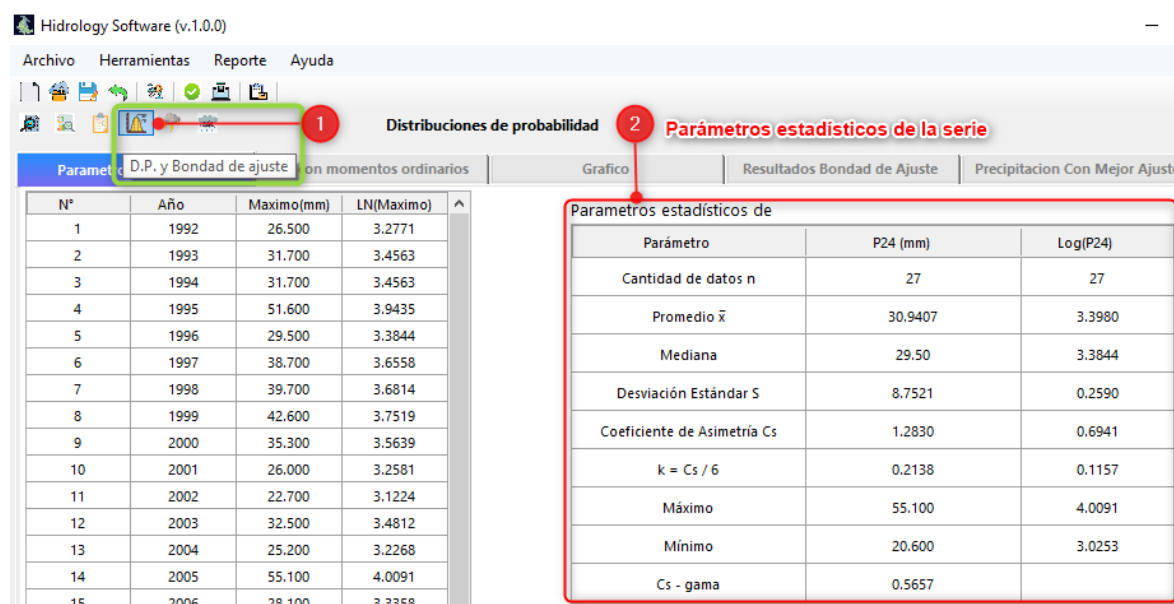
- Si las pruebas de aleatoriedad, independencia y homogeneidad no rechazan la hipótesis nula, la serie puede considerarse apta para el análisis probabilístico. En el caso de la homogeneidad, se emplean Mann–Whitney y t de Student: la primera compara las subseries mediante rangos y la segunda compara sus medias.
- Si ambas pruebas coinciden en no rechazar la homogeneidad, la serie puede considerarse homogénea. Si solo una la rechaza, el resultado es discrepante y la serie puede continuar con observaciones, previa revisión de la normalidad, las varianzas, los valores influyentes y los antecedentes de la estación. Si ambas pruebas rechazan la homogeneidad, la serie debe revisarse antes de aplicar distribuciones de probabilidad.
- Del mismo modo, si se rechaza la aleatoriedad o la independencia, no se recomienda continuar directamente. Si dos o más pruebas detectan tendencia, existe una posible no estacionariedad y la serie debe evaluarse con mayor detalle.
- En el caso mostrado, Mann–Whitney no rechaza la homogeneidad, mientras que t de Student sí identifica una diferencia entre las medias. Por ello, la serie se considera apta con observaciones. No obstante, se continuó con los módulos posteriores con fines de comprobar el funcionamiento integral del programa, la ejecución de los procedimientos implementados y la generación de resultados, sin que ello implique considerar la serie plenamente homogénea o recomendar automáticamente su uso en un estudio hidrológico definitivo.

4.7. Distribuciones de probabilidad.

El módulo de distribuciones de probabilidad permite estimar los parámetros estadísticos de la serie y ajustar diferentes modelos probabilísticos. Las distribuciones consideradas en el programa son Normal, Log Normal II, Log Normal III, Gumbel, Log Pearson III y Gamma.

La pestaña de parámetros estadísticos presenta la serie de datos, su transformación logarítmica y los estadísticos descriptivos principales. Entre los resultados se encuentran la cantidad de datos, promedio, mediana, desviación estándar, coeficiente de asimetría, valor máximo, valor mínimo y otros parámetros usados para el ajuste probabilístico.

Figura 4-8. *Parámetros estadísticos de la serie de precipitación máxima de 24 horas.*



La pestaña P.D. con momentos ordinarios muestra los parámetros estimados para cada distribución. Estos valores son utilizados por el programa para generar probabilidades teóricas, precipitaciones de diseño y comparaciones de bondad de ajuste.

Figura 4-9. *Parámetros de distribuciones estimados por momentos ordinarios.*

Hidrology Software (v.1.0.0)

Archivo Herramientas Reporte Ayuda

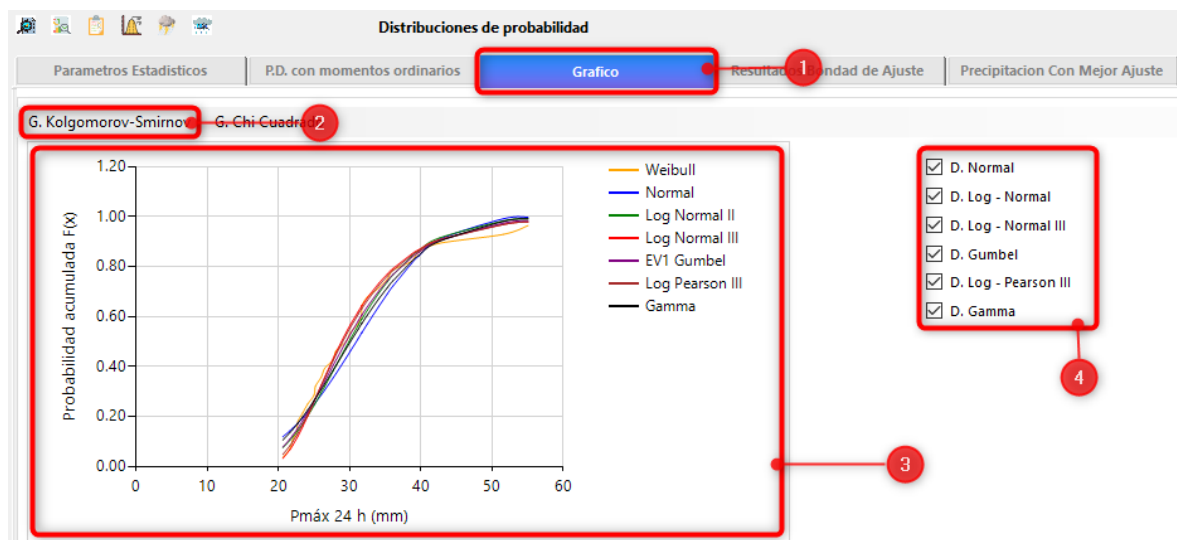
Distribuciones de probabilidad

Parametros Estadísticos **P.D. con momentos ordinarios** Grafico

Distribucion	Parametro 1	Parametro 2	Parametro 3
Normal	$\mu = 30.9407$	$\sigma = 8.7521$	
Log - Normal II	$\mu = 3.3980$	$\sigma = 0.2590$	
Log - Normal III	$X_0 = 15.8569$	$\mu = 2.5643$	$\sigma = 0.5457$
Gamma	$\alpha = 2.4757$	$\beta = 12.4979$	
Log - Pearson III	$\gamma = 8.3033$	$\gamma = 0.0899$	$X_0 = 2.6516$
EV1 - Gumbel	$X_0 = 27.0019$	$\alpha = 6.8240$	

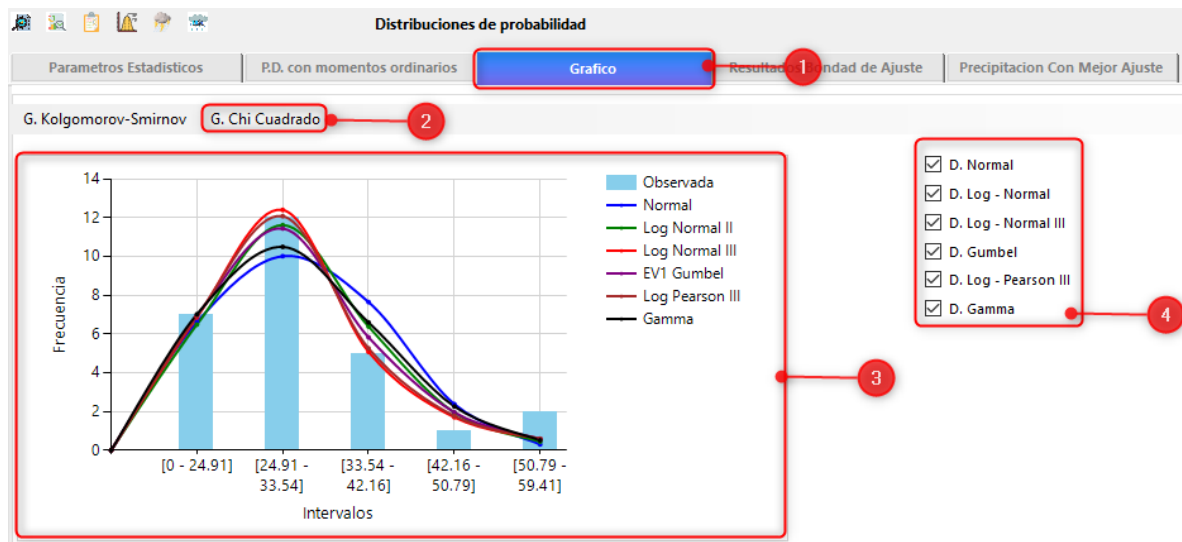
La pestaña Gráfico permite comparar la distribución empírica de Weibull con las distribuciones teóricas ajustadas. Esta visualización facilita identificar qué modelo representa mejor el comportamiento acumulado de la serie.

Figura 4-10. *Gráfico de distribución acumulada para la prueba Kolmogorov-Smirnov.*



El programa también permite visualizar la comparación de frecuencias observadas y teóricas mediante la prueba Chi-cuadrado. Las barras representan las frecuencias observadas y las curvas representan el comportamiento estimado por cada distribución.

Figura 4-11. Gráfico de frecuencias observadas y teóricas para la prueba Chi-cuadrado.



4.8. Pruebas de bondad de ajuste.

Las pruebas de bondad de ajuste permiten determinar qué distribución representa de forma más adecuada la serie de precipitación máxima. El programa presenta los resultados mediante subpestañas para Kolmogorov-Smirnov, Chi-cuadrado y Anderson-Darling.

En la prueba Kolmogorov-Smirnov se compara el valor máximo de diferencia entre la probabilidad observada y la probabilidad teórica. Si el valor máximo es menor que el valor crítico, la distribución se considera aceptada para el nivel de significancia evaluado.

Figura 4-12. Resultados de bondad de ajuste mediante Kolmogorov-Smirnov.

Distribución	Δ crítico (0.05)	Δ máximo	Decisión	Ranking
Log Pearson III	0.2550	0.0476	Se ajusta	1
EV1 Gumbel	0.2550	0.0521	Se ajusta	2
Log Normal III	0.2550	0.0586	Se ajusta	3
Gamma	0.2550	0.0724	Se ajusta	4
Log Normal II	0.2550	0.0726	Se ajusta	5
Normal	0.2550	0.1083	Se ajusta	6

En la prueba Chi-cuadrado se evalúan las diferencias entre frecuencias observadas y esperadas. La tabla muestra el estadístico calculado, los grados de libertad, el valor crítico, el valor p, la decisión y el ranking de las distribuciones aceptadas.

Figura 4-13. Resultados de bondad de ajuste mediante Chi-cuadrado.

Distribución	χ^2	gl	χ^2 crítico ($\alpha=0.05$)	p-value	Decisión 0.05	Ranking
Log Pearson III	3.658	1	3.841	0.055792	Se ajusta	1
Log Normal III	3.738	1	3.841	0.053185	Se ajusta	2
EV1 Gumbel	4.071	2	5.991	0.130634	Se ajusta	3
Gamma	5.601	2	5.991	0.060794	Se ajusta	4
Log Normal II	6.277	2	5.991	0.043347	Se rechaza	-
Normal	11.775	2	5.991	0.002774	Se rechaza	-

En la prueba Anderson-Darling se evalúa el ajuste considerando mayor sensibilidad en las colas de la distribución. La decisión se realiza comparando el estadístico calculado con el valor crítico correspondiente.

Figura 4-14. Resultados de bondad de ajuste mediante Anderson-Darling.

Distribución	A^2	A^2c	Decisión 0.05	Ranking
Log Pearson III	0.1450	0.8388	Se ajusta	1
Log Normal III	0.1471	0.8388	Se ajusta	2
EV1 Gumbel	0.2464	0.8388	Se ajusta	3
Log Normal II	0.3487	0.8388	Se ajusta	4
Gamma	0.4822	0.8388	Se ajusta	5
Normal	0.8595	0.8388	Se rechaza	-

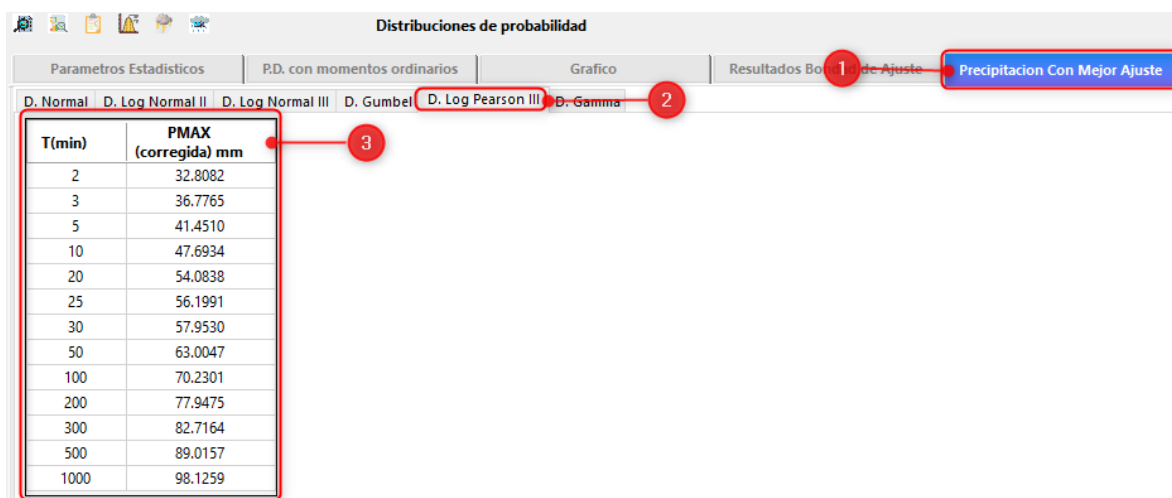
El ranking mostrado por el programa ayuda a identificar la distribución con mejor desempeño estadístico. No obstante, la selección final debe considerar también la coherencia hidrológica de los resultados y el comportamiento gráfico del ajuste.

4.9. Precipitación con mejor ajuste.

Después de evaluar las distribuciones de probabilidad, el programa permite consultar la precipitación máxima corregida asociada a la distribución seleccionada como la de mejor ajuste. Esta información sirve como base para la estimación de intensidades, curvas IDF e hietogramas de diseño.

La tabla muestra las duraciones consideradas y los valores de precipitación máxima corregida. Estos valores son posteriormente empleados por los métodos IDF implementados en el software.

Figura 4-15. Precipitación máxima corregida con la distribución de mejor ajuste.



4.10. Métodos IDF

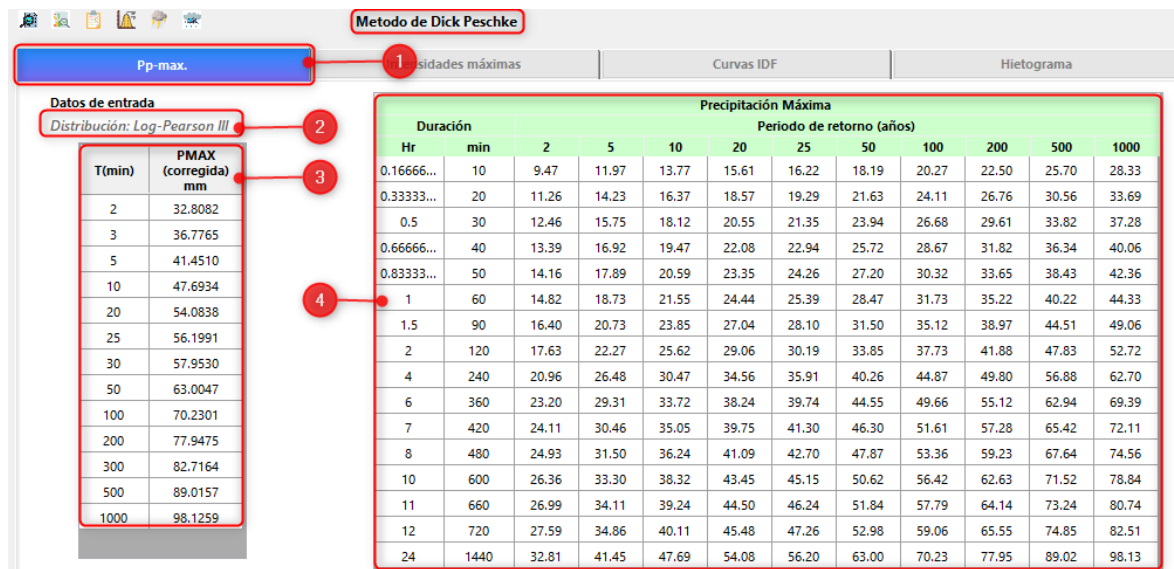
El programa incluye distintos métodos para obtener precipitaciones desagregadas, intensidades máximas, curvas IDF e hietogramas de diseño. Entre ellos se encuentran los métodos de Dick Peschke, Coeficientes, Frederick Bell adaptado por Yance Tueros e IILA-SENAMHI-UNI.

Cada método está organizado en pestañas, donde el usuario puede visualizar la precipitación máxima, las intensidades, las curvas IDF y el hietograma de diseño de forma ordenada y sencilla.

4.10.1. Método de Dick Peschke.

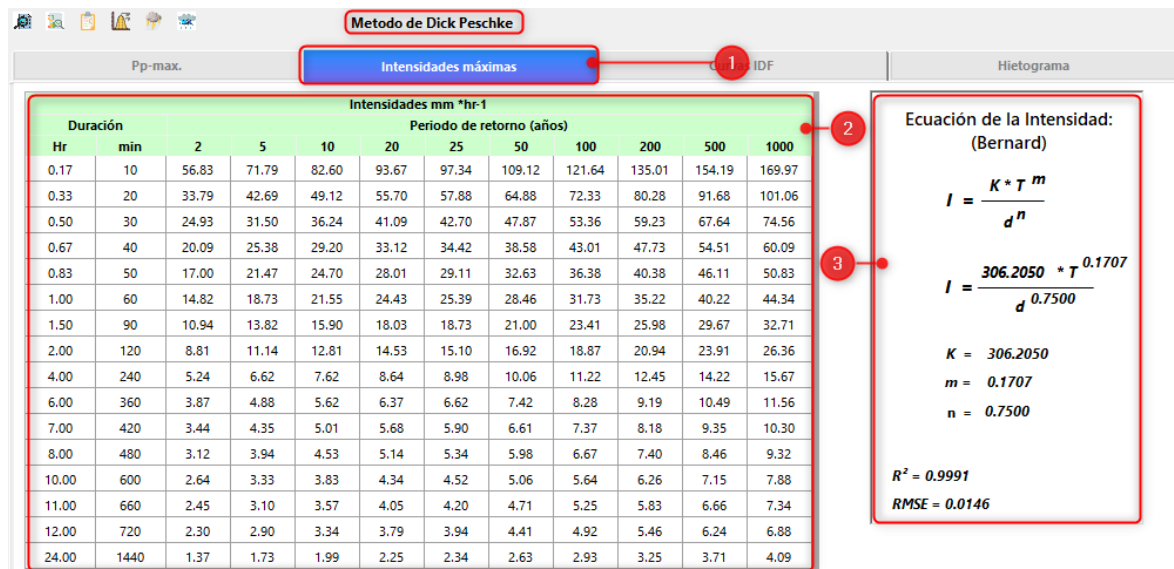
El método de Dick Peschke permite estimar precipitaciones para duraciones menores a 24 horas a partir de la precipitación máxima diaria. En la pestaña Pp-máx. se presenta la tabla de precipitaciones máximas calculadas para diferentes duraciones y periodos de retorno.

Figura 4-16. Precipitaciones máximas obtenidas mediante el método de Dick Peschke.



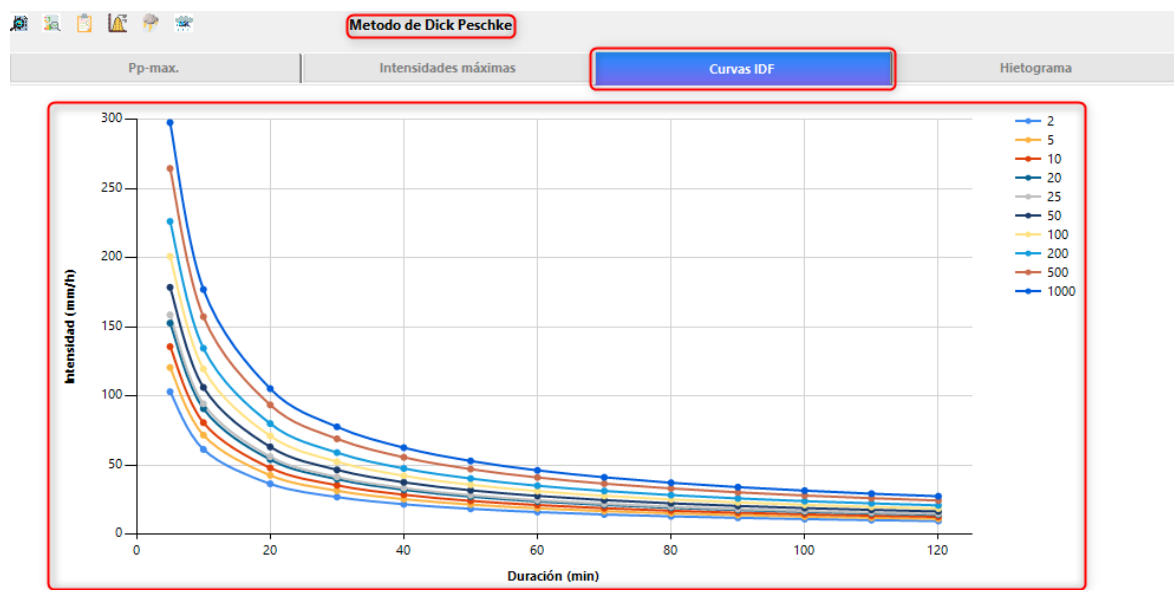
La pestaña Intensidades máximas muestra las intensidades expresadas en mm/h para cada duración y periodo de retorno. En el lado derecho se visualiza la ecuación de intensidad ajustada, junto con los parámetros K, m y n, además del coeficiente de determinación y el error RMSE.

Figura 4-17. Intensidades máximas obtenidas mediante el método de Dick Peschke.



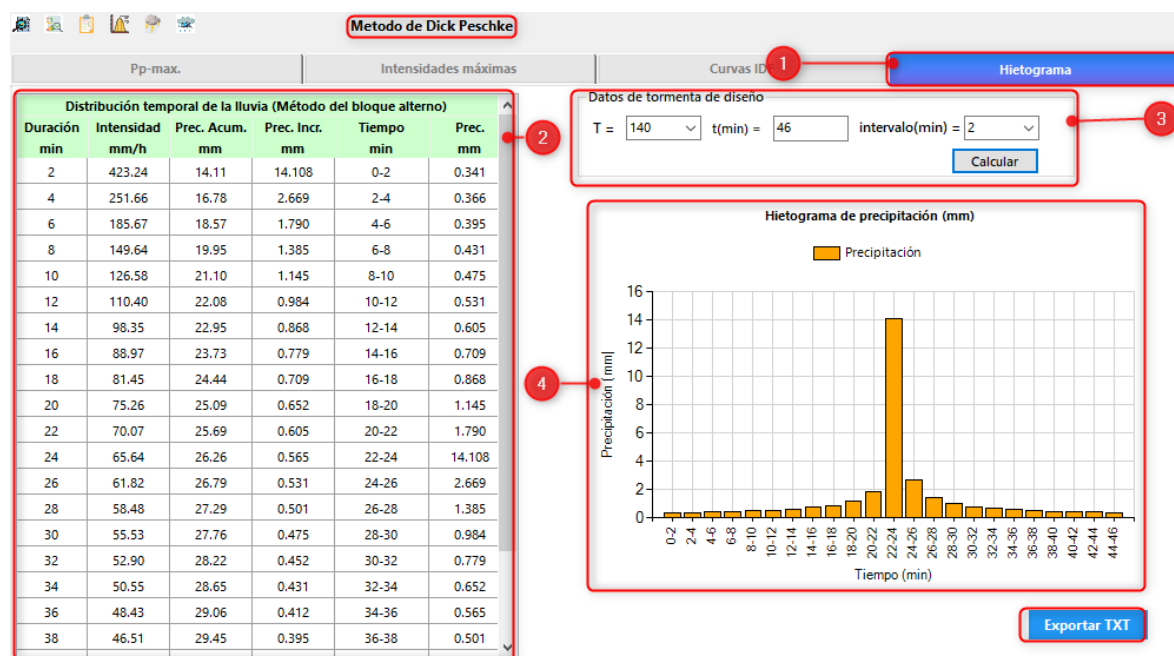
La pestaña Curvas IDF representa gráficamente la relación entre intensidad y duración para distintos periodos de retorno. Estas curvas permiten observar que, para una misma frecuencia, la intensidad disminuye conforme aumenta la duración de la lluvia.

Figura 4-18. Curvas IDF obtenidas mediante el método de Dick Peschke.



La pestaña Hietograma permite construir la distribución temporal de la lluvia de diseño mediante el método del bloque alterno. El usuario debe ingresar el periodo de retorno, la duración total de la tormenta y el intervalo de tiempo para generar la tabla y el gráfico correspondiente.

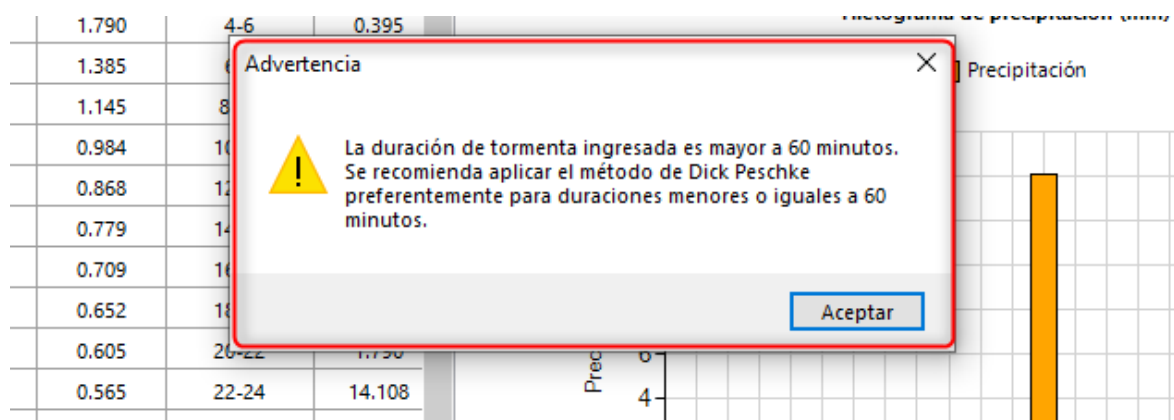
Figura 4-19. Hietograma de diseño obtenido mediante el método de Dick Peschke.



Cuando el usuario intenta aplicar el método de Dick Peschke fuera del rango recomendado, el programa muestra un mensaje de confirmación. Esta advertencia ayuda a evitar un uso

inadecuado del procedimiento en duraciones de tormenta para las que el método no es recomendable.

Figura 4-20. Mensaje de advertencia para aplicar Dick Peschke en duraciones mayores.



4.10.2. Método de coeficientes

El método de Coeficientes utiliza factores de duración para transformar la precipitación máxima de 24 horas en precipitaciones correspondientes a diferentes duraciones. En la pestaña Pp-máx. se muestra la tabla de precipitaciones calculadas para cada periodo de retorno.

Figura 4-21. Precipitaciones máximas obtenidas mediante el método de Coeficientes.

Metodo de Coeficiente

Pp-max. 1 Intensidades máximas Curvas IDF Hietograma

Datos de entrada
Distribución: Log-Pearson III 2

T(min)	PMAX (corregida) mm
2	32.8082
3	36.7765
5	41.4510
10	47.6934
20	54.0838
25	56.1991
30	57.9530
50	63.0047
100	70.2301
200	77.9475
300	82.7164
500	89.0157
1000	98.1259

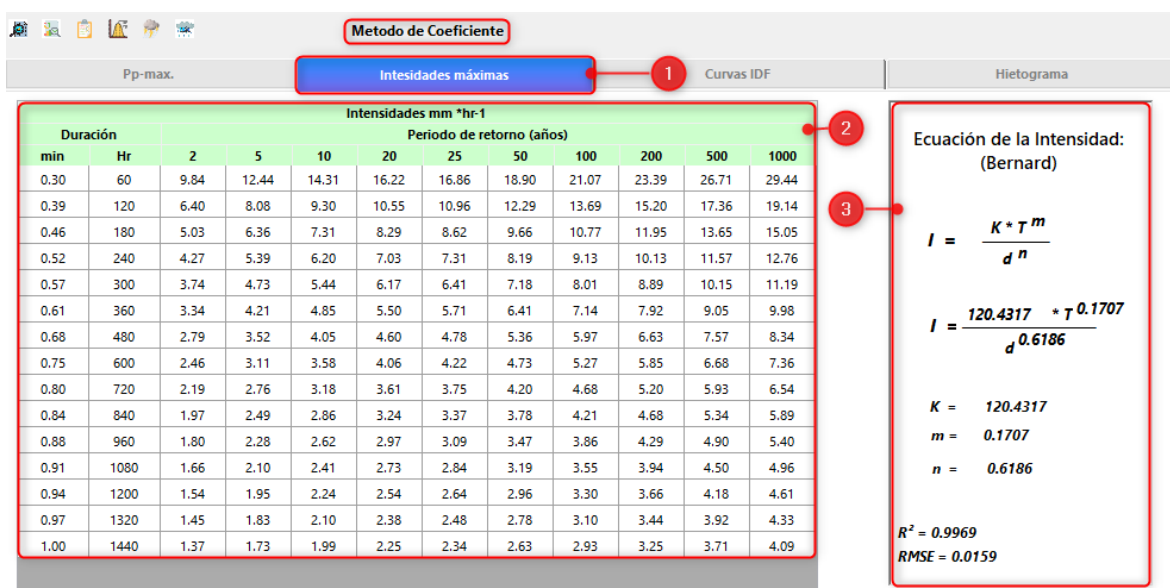
3

4

Duración		Precipitación Máxima									
Hr	Ctes	Periodo de retorno (años)									
		2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000
1	0.3	9.84	12.44	14.31	16.23	16.86	18.90	21.07	23.38	26.70	29.44
2	0.39	12.80	16.17	18.60	21.09	21.92	24.57	27.39	30.40	34.72	38.27
3	0.46	15.09	19.07	21.94	24.88	25.85	28.98	32.31	35.86	40.95	45.14
4	0.52	17.06	21.55	24.80	28.12	29.22	32.76	36.52	40.53	46.29	51.03
5	0.57	18.70	23.63	27.19	30.83	32.03	35.91	40.03	44.43	50.74	55.93
6	0.61	20.01	25.29	29.09	32.99	34.28	38.43	42.84	47.55	54.30	59.86
8	0.68	22.31	28.19	32.43	36.78	38.22	42.84	47.76	53.00	60.53	66.73
10	0.75	24.61	31.09	35.77	40.56	42.15	47.25	52.67	58.46	66.76	73.59
12	0.8	26.25	33.16	38.15	43.27	44.96	50.40	56.18	62.36	71.21	78.50
14	0.84	27.56	34.82	40.06	45.43	47.21	52.92	58.99	65.48	74.77	82.43
16	0.88	28.87	36.48	41.97	47.59	49.46	55.44	61.80	68.59	78.33	86.35
18	0.91	29.86	37.72	43.40	49.22	51.14	57.33	63.91	70.93	81.00	89.29
20	0.94	30.84	38.96	44.83	50.84	52.83	59.22	66.02	73.27	83.67	92.24
22	0.97	31.82	40.21	46.26	52.46	54.51	61.11	68.12	75.61	86.35	95.18
24	1	32.81	41.45	47.69	54.08	56.20	63.00	70.23	77.95	89.02	98.13

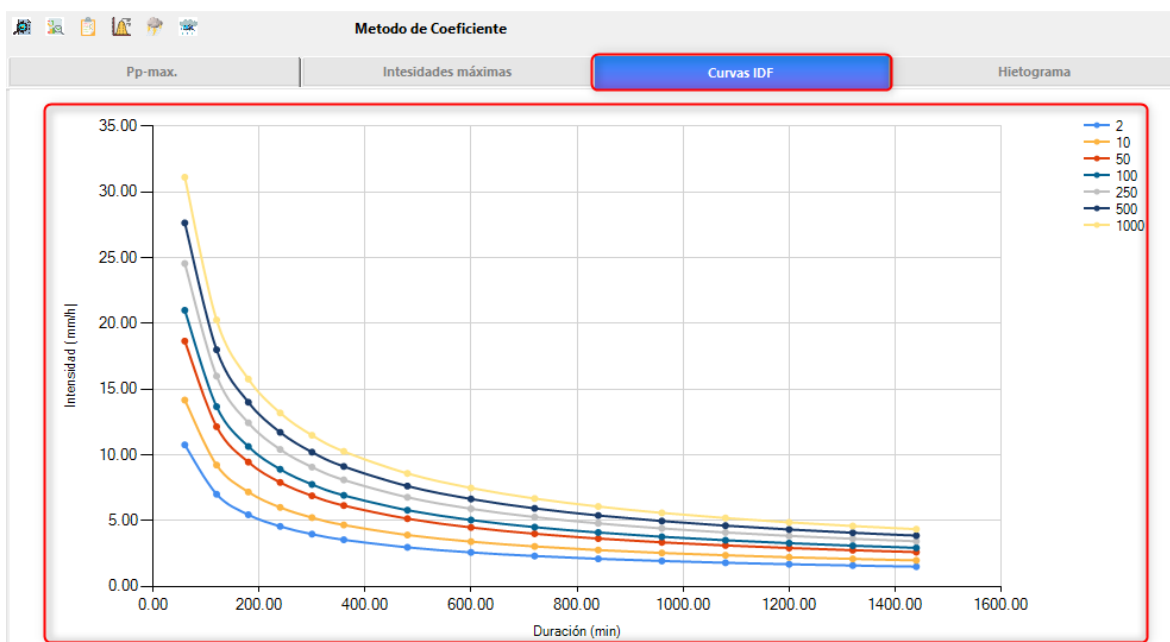
La pestaña Intensidades máximas presenta los valores de intensidad calculados y la ecuación IDF ajustada. El usuario debe revisar los parámetros del modelo y la calidad del ajuste antes de utilizar los resultados en el diseño hidrológico.

Figura 4-22. *Intensidades máximas obtenidas mediante el método de Coeficientes.*



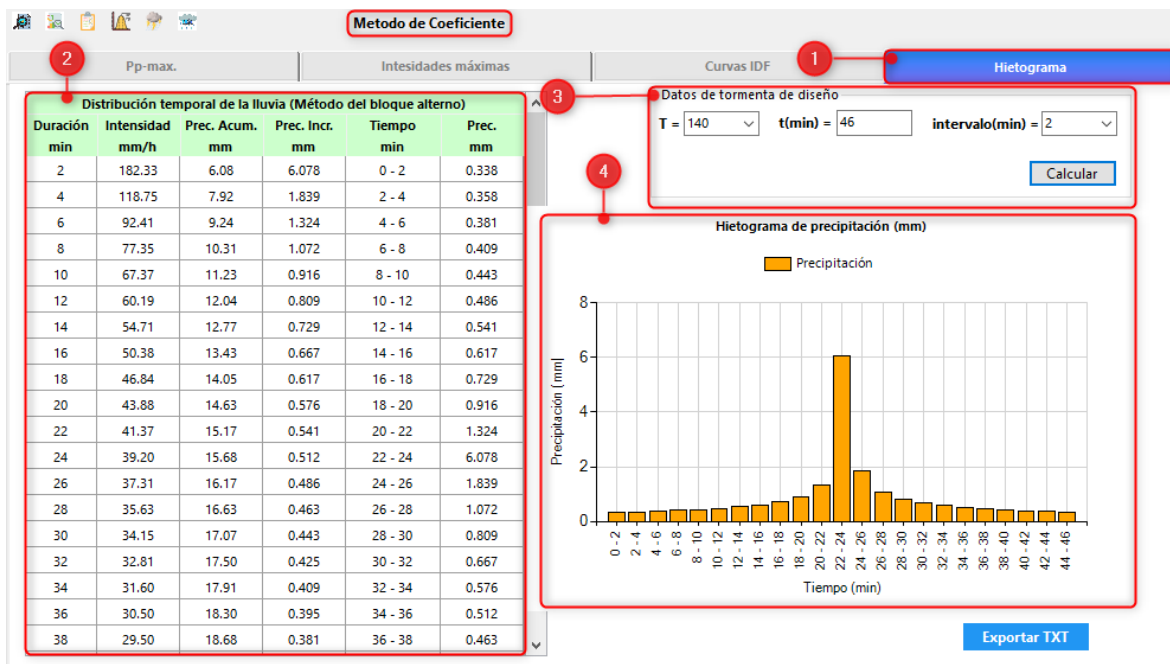
La pestaña Curvas IDF muestra las curvas generadas para distintos periodos de retorno. Esta representación permite comparar la variación de la intensidad frente a la duración de la lluvia.

Figura 4-23. *Curvas IDF obtenidas mediante el método de Coeficientes.*



La pestaña Hietograma permite generar la distribución temporal de la precipitación de diseño. El usuario puede modificar el periodo de retorno, la duración total de la tormenta y el intervalo de cálculo, y luego presionar Calcular para actualizar la tabla y el gráfico.

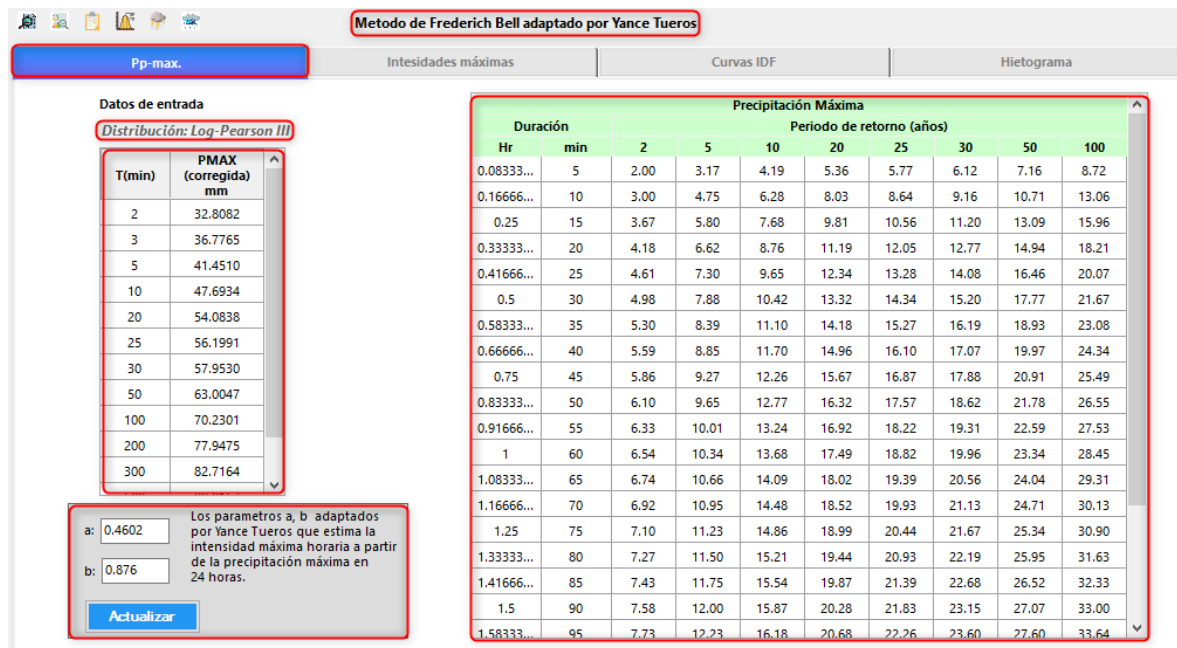
Figura 4-24. Hietograma de diseño obtenido mediante el método de Coeficientes.



4.10.3. Método de Frederick Bell adaptado por Yance Tueros

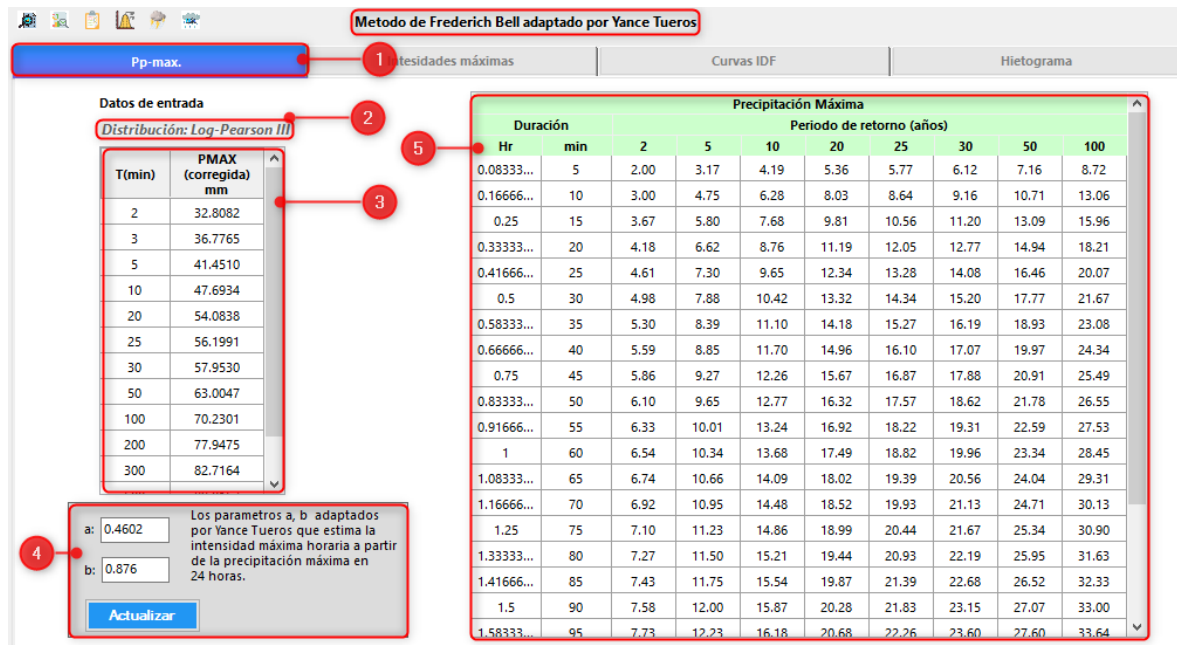
El método de Frederick Bell adaptado por Yance Tueros permite obtener precipitaciones máximas e intensidades mediante parámetros empíricos. En la pestaña Pp-máx. se visualizan los datos de entrada, la tabla de precipitaciones máximas y los parámetros a y b utilizados para la estimación.

Figura 4-25. Precipitaciones máximas obtenidas mediante el método de Frederick Bell.



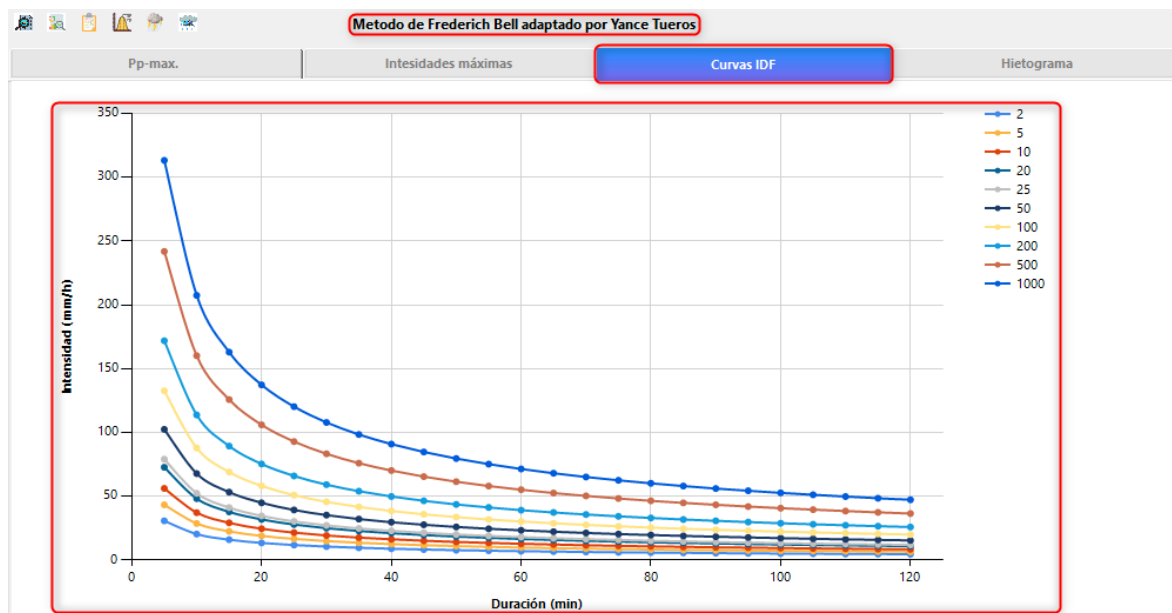
La pestaña Intensidades máximas muestra la tabla de intensidades y la ecuación de Bernard ajustada. Los parámetros K, m y n describen la relación funcional entre intensidad, periodo de retorno y duración.

Figura 4-26. Intensidades máximas obtenidas mediante el método de Frederick Bell.



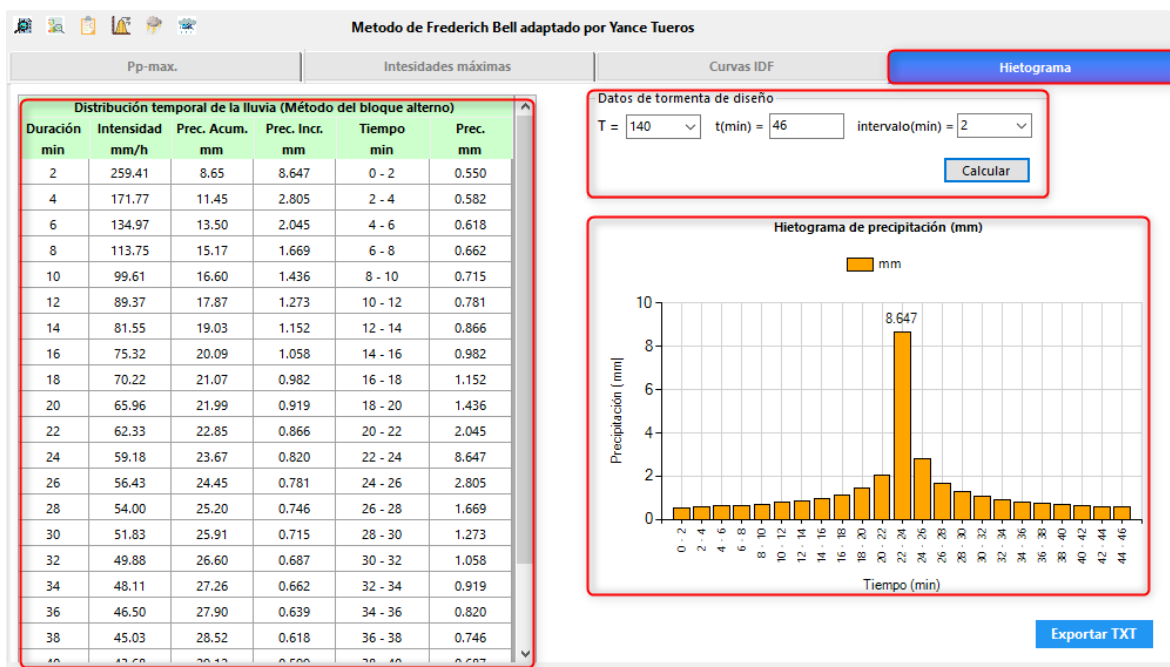
La pestaña Curvas IDF representa las intensidades máximas para diferentes periodos de retorno. Estas curvas son útiles para comparar la respuesta del método con los otros procedimientos implementados en el programa.

Figura 4-27. Curvas IDF obtenidas mediante el método de Frederich Bell.



La pestaña Hietograma genera la distribución temporal de la lluvia mediante bloques alternos. Este resultado puede exportarse en formato TXT para su uso en otros programas o como anexo de cálculo.

Figura 4-28. Hietograma de diseño obtenido mediante el método de Frederick Bell.



4.11. Método IILA-SENAMHI-UNI

El módulo IILA-SENAMHI-UNI permite estimar intensidades máximas a partir de parámetros regionales definidos por zona y subzona pluviométrica. Para aplicar este método, el usuario debe seleccionar la duración de precipitación, la región, la zona, la subzona y la elevación correspondiente al área de estudio.

La ventana Zona y Subzona muestra los campos de ingreso y los parámetros calculados, entre ellos b , E_g , $K'g$, a , D_c , D_m y n . Estos valores sirven para generar la ecuación de intensidad y las curvas IDF regionales.

Figura 4-29. Ingreso de zona, subzona y parámetros del método IILA-SENAMHI-UNI.

Método de IILA SENAMHI

Zona y Subzona (1)

Duración de Pp
☒ t < 3h ☐ t ≥ 3h

$i_{(t,T)} = a(1 + K_g \text{Log} T)^b (t + b)^{n-1}$

Datos

Región: Sierra
 Zona: 123
 Sub zonas: 123_5
 Elevación: 2542

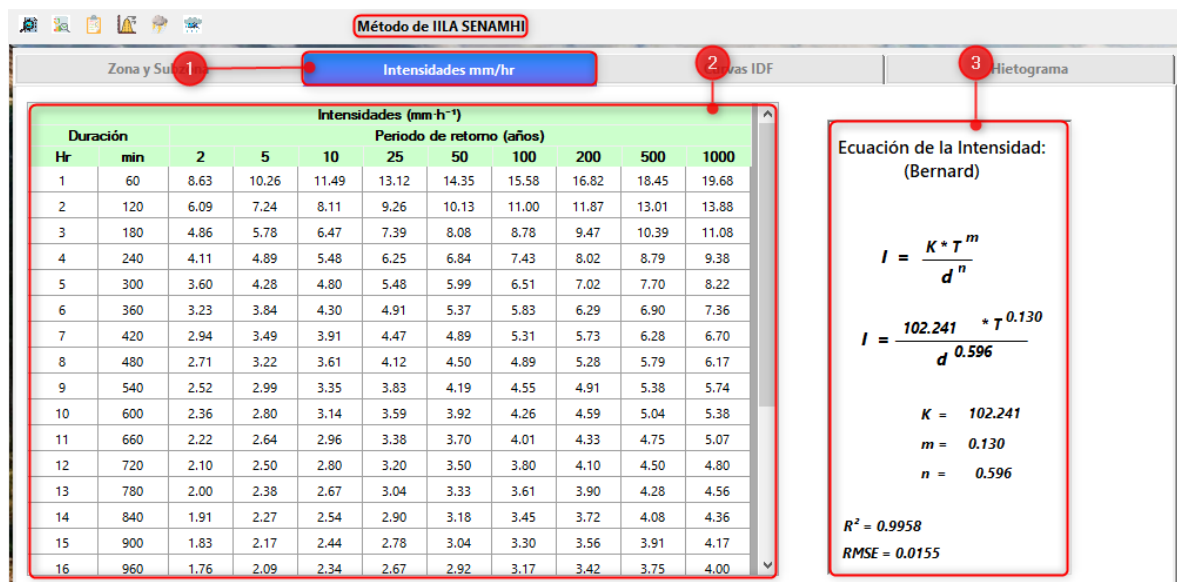
Parámetros calculados

b = 0.4 Eg = 24
 K'g = 0.553 a = 9.2
 Dc = 0.0 Dm = 45
 n = 0.353

(2)

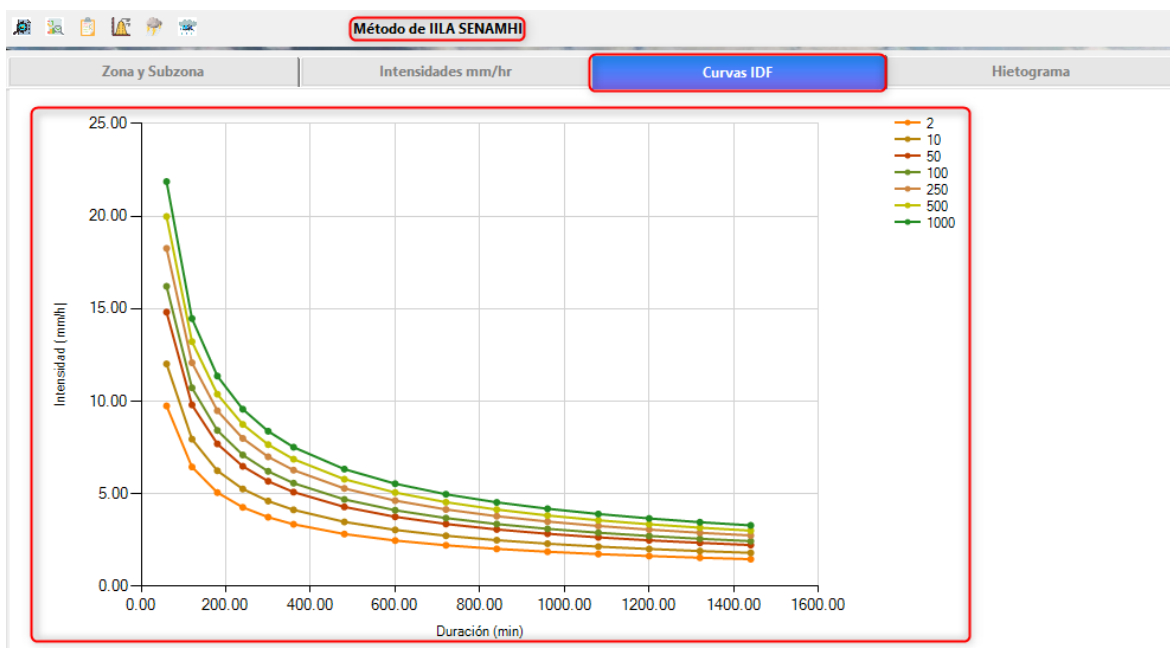
En la pestaña Intensidades mm/hr se muestran las intensidades calculadas para diferentes duraciones y periodos de retorno. En el panel derecho se presenta la ecuación de intensidad de Bernard con los parámetros ajustados.

Figura 4-30. Intensidades máximas obtenidas mediante el método IILA-SENAMHI-UNI.



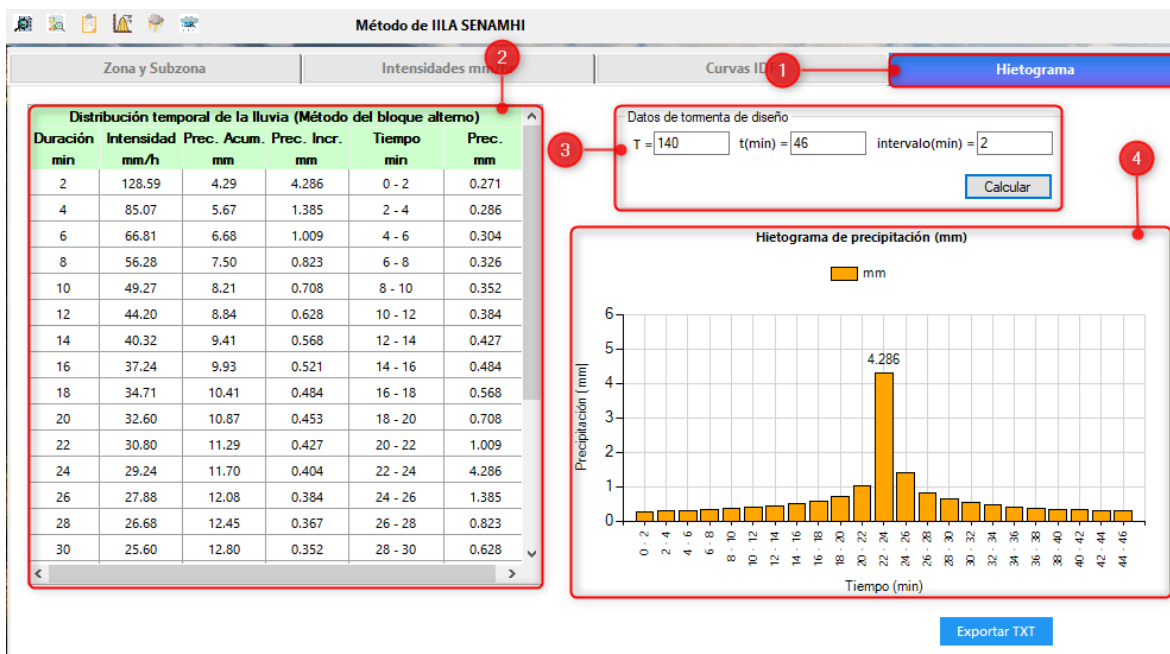
La pestaña Curvas IDF permite visualizar gráficamente el comportamiento de las intensidades para los distintos periodos de retorno. La pendiente descendente de las curvas refleja la reducción de la intensidad a medida que aumenta la duración de la lluvia.

Figura 4-31. Curvas IDF obtenidas mediante el método IILA-SENAMHI-UNI.



La pestaña Hietograma permite calcular la tormenta de diseño a partir de las intensidades obtenidas por el método IILA-SENAMHI-UNI. El usuario debe ingresar el periodo de retorno, la duración de tormenta y el intervalo de tiempo, y luego presionar Calcular.

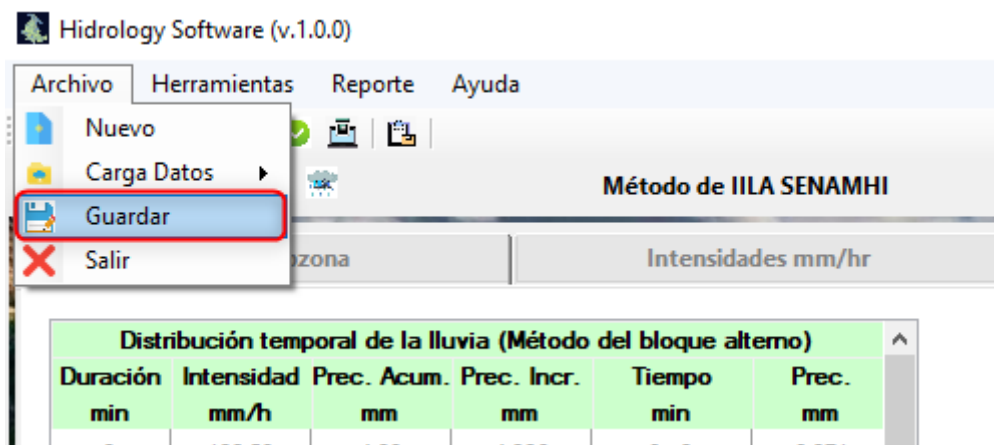
Figura 4-32. Hietograma de diseño obtenido mediante el método IILA-SENAMHI-UNI.



4.12. Gestión de resultados, exportación PDF y Txt

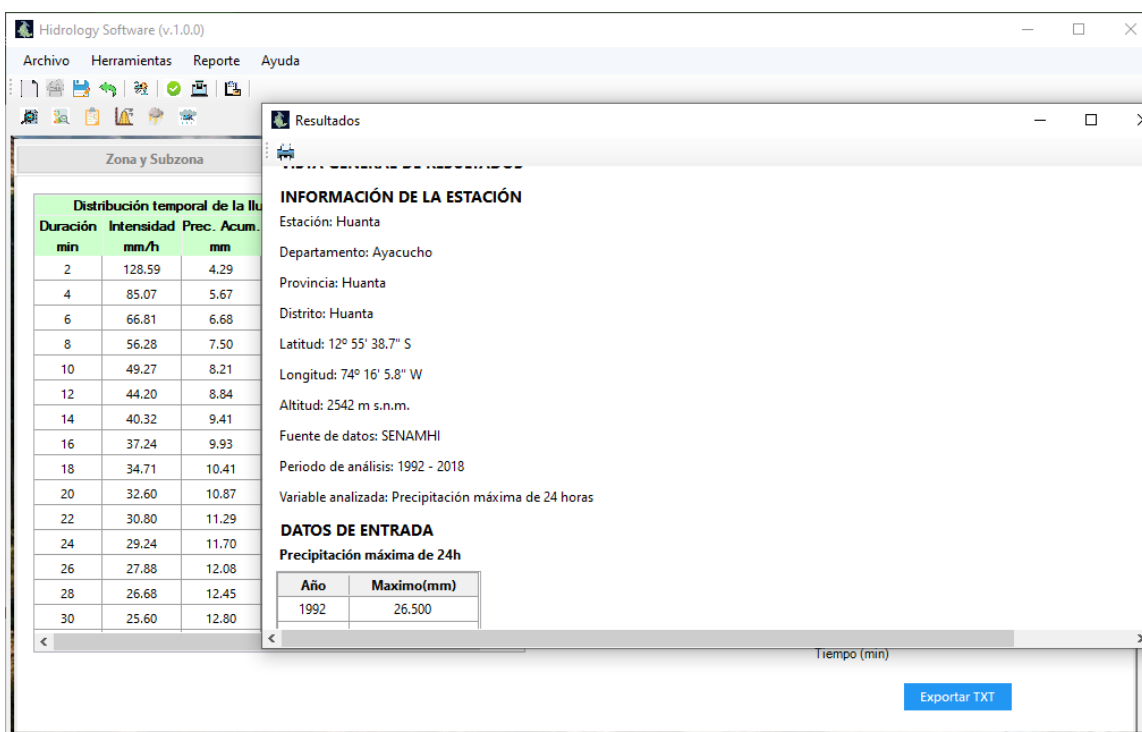
El programa permite guardar el proyecto de trabajo en un archivo propio del software. Esta opción es útil para conservar la información procesada y recuperar posteriormente el análisis sin repetir todo el procedimiento de carga y cálculo.

Figura 4-33. Ventana para guardar proyecto HydroSoft.



La opción Reporte > Ver Resultados abre una ventana en la que se integran los datos de la estación, la información de entrada, las tablas principales y los resultados generados durante el análisis. Esta vista permite revisar el contenido antes de exportarlo.

Figura 4-34. Ventana de resultados del programa.



Para generar el reporte final, el usuario debe seleccionar la opción Guardar en PDF. Luego, el programa abrirá una ventana para elegir la carpeta de destino y asignar un nombre al archivo.

Figura 4-35. Ventana para guardar el reporte en PDF.

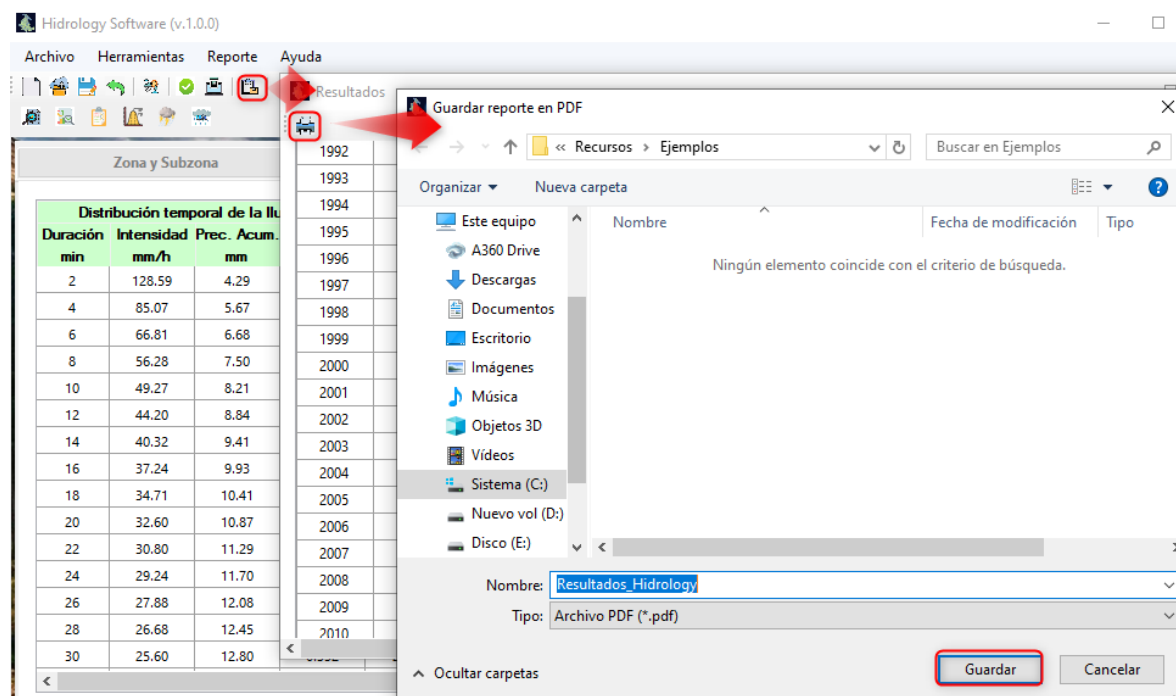
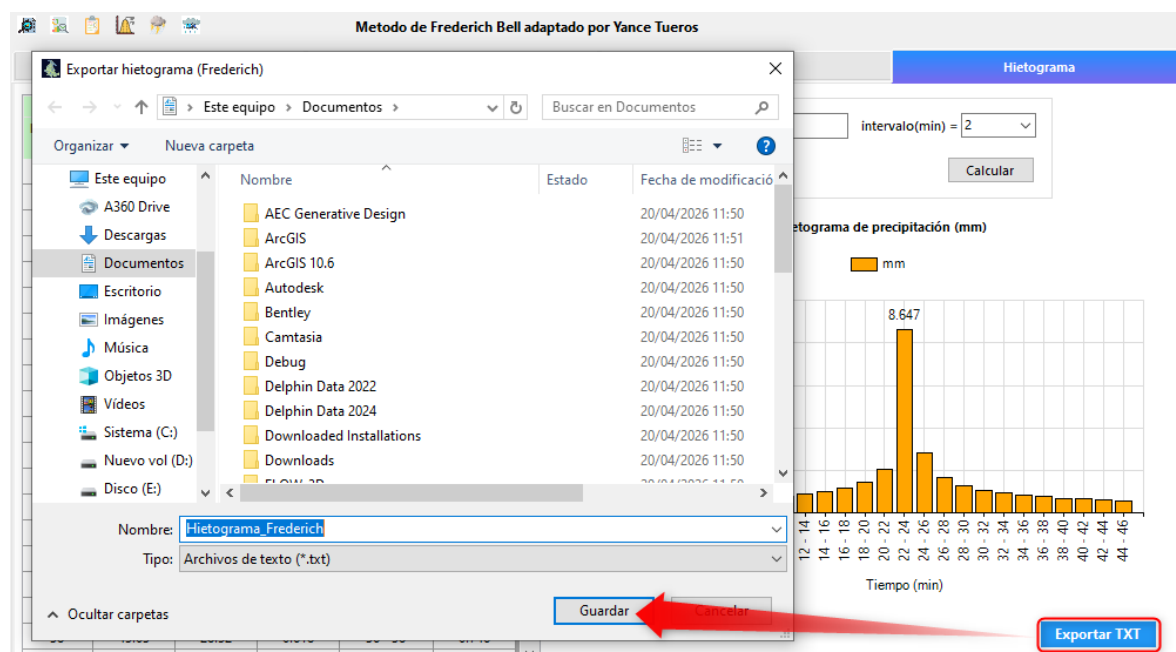


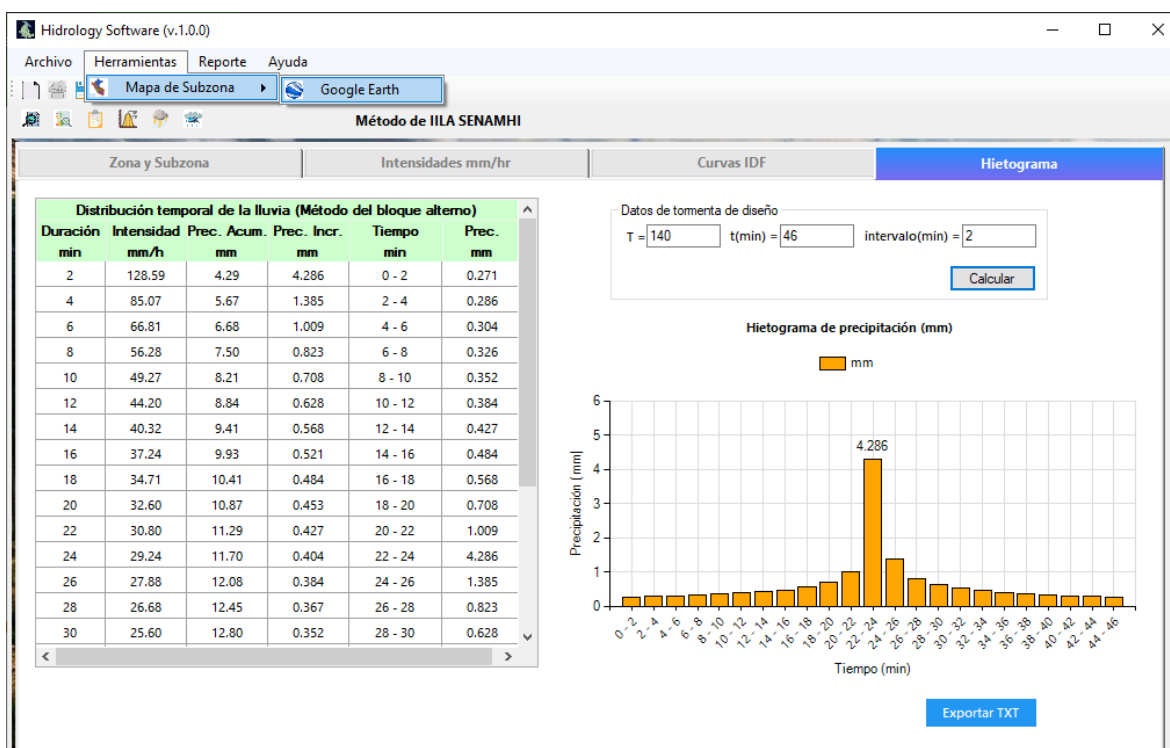
Figura 4-36. Ventana para guardar el reporte de hietograma en Txt.



4.13. Herramientas, mapa de subzona, Google Earth y ayuda

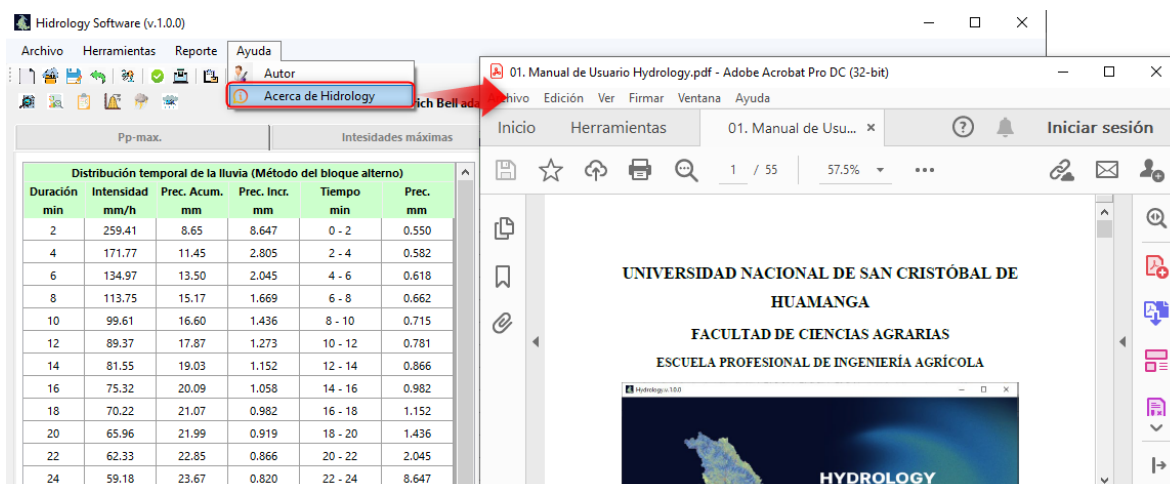
El menú Herramientas incluye la opción Mapa de Subzona, desde la cual puede abrirse el recurso geográfico asociado en Google Earth. Esta función facilita la identificación de zonas y subzonas requeridas por el método IILA-SENAMHI.

Figura 4-37. Menú de herramientas para abrir mapa de subzona en Google Earth.



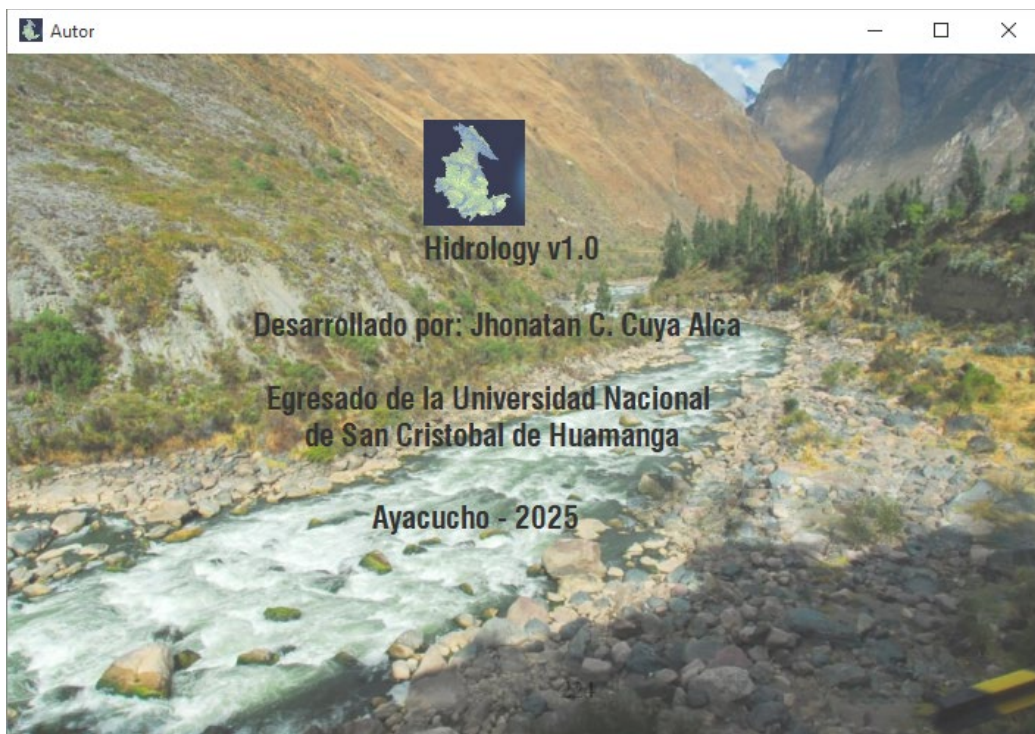
El menú Ayuda permite acceder a información complementaria del programa. En este menú se encuentran las opciones Autor y Acerca de Hidrology, que muestran los datos del desarrollador y la información general del software.

Figura 4-38. Menú de ayuda del programa.



La ventana Autor muestra los datos de identificación del desarrollador, la institución de procedencia y el año de elaboración del programa. Esta información sirve como referencia del software dentro del manual y de la documentación de la tesis.

Figura 4-39. *Ventana de autor del programa Hidrology v.1.0.0.*



5. Recomendaciones de uso

Para obtener resultados consistentes, el usuario debe revisar cuidadosamente los datos antes de ejecutar los cálculos. La calidad de los resultados depende de la correcta organización de la serie de precipitación, de la información registrada para la estación y de la adecuada selección de los métodos hidrológicos aplicados.

- Verificar que la serie de precipitación máxima de 24 horas no contenga celdas vacías, valores no numéricos, datos faltantes o registros inconsistentes.
- Revisar la longitud y continuidad de la serie histórica. Se recomienda utilizar series de precipitación máxima en 24 horas con una longitud mayor a 20 años, siempre que la información disponible lo permita, debido a que registros cortos o discontinuos pueden afectar la confiabilidad del análisis estadístico, el ajuste de distribuciones de probabilidad y la estimación de intensidades de diseño
- Confirmar que la estación, ubicación, altitud, fuente de datos y periodo de análisis hayan sido registrados correctamente.

- Verificar que la estación pluviométrica utilizada sea representativa del área de estudio, considerando su ubicación, altitud, condiciones orográficas y régimen de precipitación.
- Utilizar la opción Validar antes de ejecutar el cálculo general, con la finalidad de detectar posibles errores en la información ingresada.
- Revisar los resultados de las pruebas estadísticas antes de seleccionar una distribución de probabilidad.
- Comparar el ranking de las pruebas de bondad de ajuste con la interpretación gráfica de las distribuciones, a fin de seleccionar la distribución más adecuada para la serie analizada.
- Comprobar que la zona y subzona seleccionadas en el método IILA-SENAMHI-UNI correspondan al área de estudio, debido a que los parámetros regionales influyen directamente en las intensidades calculadas.
- Interpretar con cautela los resultados asociados a periodos de retorno altos, debido a que representan estimaciones de eventos extremos y presentan mayor incertidumbre.
- Utilizar los resultados del programa como apoyo académico, comparativo y técnico para el análisis local. Para estudios definitivos o proyectos hidráulicos de alta responsabilidad, se recomienda contrastar los resultados con información oficial actualizada y aplicar criterio técnico especializado.
- Guardar el proyecto antes de exportar el reporte final.
- Revisar la vista de resultados antes de generar el PDF definitivo.

Utilizar los resultados del programa como apoyo académico, comparativo y técnico para el análisis local. Para estudios preliminares, la herramienta permite orientar la evaluación hidrológica y comparar métodos de cálculo; sin embargo, para estudios definitivos o proyectos hidráulicos de alta responsabilidad, se recomienda contrastar los resultados con información oficial actualizada y aplicar criterio técnico especializado.

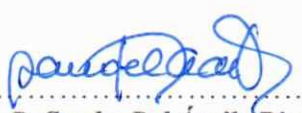
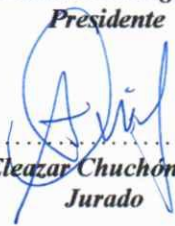
**UNSCH**FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**
Bach. JHONATAN CRISPIN CUYA ALCA**R.D. N° 281-2026-UNSCH-FCA-D**

En la ciudad de Ayacucho, a los nueve días del mes de julio del año dos mil veintiséis, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por el Ph.D. Sandra Del Águila Ríos, M.Sc. César Vidal Gutiérrez Ninahuamán como asesor, Dr. Eleazar Chuchón Angulo y el Ing. Vance Giorgio Fernández Huamán; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Programa computacional para obtener curvas IDF y hietogramas de diseño mediante el Visual Basic 10.9 - Ayacucho - 2022**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, presentado por el Bachiller **JHONATAN CRISPIN CUYA ALCA**.

El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invitó a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Ph.D. Sandra Del Águila Ríos	16	14	15	15
M.Sc. César Vidal Gutiérrez Ninahuamán	16	15	17	16
Dr. Eleazar Chuchón Angulo	17	18	14	16
Ing. Vance Giorgio Fernández Huamán	12	12	14	13
PROMEDIO GENERAL				15

Acto seguido se invita a la sustentante y público en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.


.....
Ph.D. Sandra Del Águila Ríos
Presidente
.....
M.Sc. César Vidal Gutiérrez Ninahuamán
Asesor
.....
Dr. Eleazar Chuchón Angulo
Jurado
.....
Ing. Vance Giorgio Fernández Huamán
Jurado
.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por **R.D N° 213-2025-UNSCH-FCA-CF**; hace constar que el trabajo titulado:

Programa computacional para obtener curvas IDF y hietogramas de diseño mediante el Visual Basic 10.9 – Ayacucho – 2022

Autor : Jhonatan Crispin Cuya Alca
Asesor : César Vidal Gutiérrez Ninahuamán

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de tesis, aprobado mediante RCU 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de **once (11%)** de índice de similitud, con exclusión de citas y bibliografía, y de coincidencias menores de 30 palabras.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con identificador de la entrega: 3001307573

Ayacucho, 21 de Julio de 2026

Atentamente,



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias
Prof. Dr. Eleazar Chuchón Angulo
DNI: 42682714

Programa computacional para obtener curvas IDF y hietogramas de diseño mediante el Visual Basic 10.9 - Ayacucho - 2022

por Jhonatan Crispin Cuya Alca

Fecha de entrega: 21-jul-2026 10:07a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 3001307573

Nombre del archivo: 01._Borrador_de_Tesis_Cuya_Alca_Jhonatan.pdf (7.01M)

Total de palabras: 48195

Total de caracteres: 272760

Programa computacional para obtener curvas IDF y hietogramas de diseño mediante el Visual Basic 10.9 - Ayacucho - 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

11 %

INDICE DE SIMILITUD

11 %

FUENTES DE INTERNET

7 %

PUBLICACIONES

5 %

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2 %
2	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	1 %
3	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	Submitted to Engineering Institute of Technology Trabajo del estudiante	<1 %
5	Submitted to Universidad Nacional Agraria la Molina Trabajo del estudiante	<1 %
6	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
7	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
8	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
9	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
10	Halmi, Ákos. "Kisköltségvetésű, batimetriai szonárrendszerek használhatóságának vizsgálata folyóvizekben.", University of Pécs (Hungary), 2024 Publicación	<1 %
11	Submitted to Asia Pacific University College of Technology and Innovation (UCTI) Trabajo del estudiante	<1 %
12	social.msdn.microsoft.com Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to NCC Education Trabajo del estudiante	<1 %
14	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %

beatricedesimone.wordpress.com

15	Fuente de Internet	<1 %
16	Harald Nahrstedt. "Algorithmen für Ingenieure", Springer Science and Business Media LLC, 2025 Publicación	<1 %
17	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	dehesa.unex.es:8080 Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	vbook.pub Fuente de Internet	<1 %
21	Brugh, Alexander M/. "Experimental and Theoretical Approaches to Inorganic Spin Chemistry", The University of North Carolina at Chapel Hill, 2021 Publicación	<1 %
22	Submitted to Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo Trabajo del estudiante	<1 %
23	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	Submitted to Universidad Alas Peruanas Trabajo del estudiante	<1 %
26	repositorio.ulc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	FM & SP INGENIEROS SAC. "EIA Proyecto Planta Industrial Mexichem - Arequipa.- IGA0012092", Oficio N° 286-2013-PRODUCE/DVMYPE-I/DIGGAM, 2020 Publicación	<1 %
28	Submitted to Ministerio de Defensa - Dirección General de Reclutamiento y Enseñanza Militar Trabajo del estudiante	<1 %
29	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	openjicareport.jica.go.jp Fuente de Internet	<1 %

31	www.bragitoff.com Fuente de Internet	<1 %
32	ltuttini.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
33	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	<1 %
34	"Incorporación de los efectos de erupciones volcánicas en modelos estocásticos de precipitación en cuencas hidrográficas. Caso del volcán Tungurahua en la microcuenca del río Ambato", 'Universitat Politecnica de Valencia' Fuente de Internet	<1 %
35	www.monografias.com Fuente de Internet	<1 %
36	Submitted to Zambia Centre for Accountancy Studies Trabajo del estudiante	<1 %
37	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
38	dspace-uh-tmp.igniteonline.la Fuente de Internet	<1 %
39	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
40	www.unesco.org.uy Fuente de Internet	<1 %
41	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
42	www.programmieraufgaben.ch Fuente de Internet	<1 %
43	Isam Mohammed Abdel-Magid, Mohammed Isam Mohammed Abdel-Magid. "Computer Modeling Applications for Environmental Engineers", CRC Press, 2017 Publicación	<1 %
44	Submitted to Universidad Nacional Hermilio Valdizan Trabajo del estudiante	<1 %
45	repositorio.usm.cl Fuente de Internet	<1 %
46	academica-e.unavarra.es Fuente de Internet	<1 %

47	ibmc.umh.es Fuente de Internet	<1 %
48	portais4.ufes.br Fuente de Internet	<1 %
49	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
50	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
51	Submitted to Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC Trabajo del estudiante	<1 %
52	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
53	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
54	Submitted to Universidad del Istmo de Panamá Trabajo del estudiante	<1 %
55	repositorio.iestpffaa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
56	repositorio.udec.cl Fuente de Internet	<1 %
57	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	<1 %
58	JESÚS LÓPEZ DE LA CRUZ. "Análisis estadístico y modelación del régimen de las crecidas en ríos de la España peninsular en un contexto no estacionario.", Universitat Politecnica de Valencia, 2013 Publicación	<1 %
59	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
60	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación Trabajo del estudiante	<1 %
61	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
62	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
63	www.frontiersin.org Fuente de Internet	<1 %

<1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

Programa computacional para obtener curvas IDF y hietogramas de diseño mediante el Visual Basic 10.9 - Ayacucho – 2022

Jhonatan Crispin Cuya Alca¹

César Vidal Gutiérrez Ninahuamán²

Área de investigación: Medio ambiente

Línea de investigación: Hidrología, hidráulica, saneamiento, energía y cambio climático

jhonatan.cuya.21@unsch.edu.pe

cesar.gutierrez@unsch.edu.pe

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo desarrollar un programa computacional en Visual Basic .NET, implementado en Visual Studio, para obtener curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) y hietogramas de diseño a partir de series de precipitación máxima en 24 horas en Ayacucho. El estudio fue aplicado, descriptivo, no experimental y de desarrollo tecnológico con validación comparativa. Como caso de demostración se utilizó la serie de la estación meteorológica Huanta, constituida por 27 registros anuales del periodo 1992-2018. El programa integra módulos de gestión de datos, detección de datos dudosos, análisis estadístico, ajuste de distribuciones de probabilidad, desagregación temporal, generación de curvas IDF e hietogramas y aplicación alternativa del método IILA-SENAMHI-UNI. Se evaluaron las distribuciones Normal, Log-Normal II, Log-Normal III, Gamma, Log-Pearson III y Gumbel mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov, Chi-cuadrado y Anderson-Darling. La distribución Log-Pearson III presentó el mejor desempeño global y permitió estimar precipitaciones máximas corregidas entre 32.808 mm para 2 años y 98.126 mm para 1000 años. Las curvas se generaron con los métodos de Dick Peschke, Coeficientes, Frederick Bell adaptado por Yance Tueros e IILA-SENAMHI-UNI. La validación mostró coincidencia prácticamente exacta con Excel y concordancia favorable con HIDROESTA, aunque las diferencias aumentaron para periodos de retorno elevados. Hidrology v.1.0.0 completó el procesamiento en aproximadamente 5 minutos, frente a 45 minutos en Excel y 30 minutos en el procedimiento HIDROESTA-Excel, lo que representó reducciones de 89 % y 83 %, respectivamente. Se concluye que el programa automatiza y organiza el análisis hidrológico, mejora la trazabilidad de los cálculos y constituye una herramienta académica y técnica de apoyo; sus resultados deben interpretarse dentro del enfoque local del estudio y contrastarse con fuentes oficiales para proyectos definitivos.

Palabras clave: curvas IDF, hietogramas de diseño, precipitación máxima, análisis hidrológico, Visual Basic.

Computer program for obtaining IDF curves and design hyetographs using Visual Basic 10.9 - Ayacucho - 2022

Jhonatan Crispin Cuya Alca¹

César Vidal Gutiérrez Ninahuamán²

Research area: Environment

Research line: Hydrology, hydraulics, sanitation, energy and climate change

jhonatan.cuya.21@unsch.edu.pe

cesar.gutierrez@unsch.edu.pe

ABSTRACT

The objective of this study was to develop a computer program in Visual Basic .NET, implemented in Visual Studio, to obtain Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves and design hyetographs from 24-hour maximum precipitation series in Ayacucho. The study was applied, descriptive, non-experimental, and technological-development research with comparative validation. As a demonstration case, 27 annual records from the Huanta meteorological station for the 1992-2018 period were used. The program integrates modules for data management, detection of questionable data, statistical analysis, probability distribution fitting, temporal disaggregation, generation of IDF curves and design hyetographs, and the alternative application of the IILA-SENAMHI-UNI method. The Normal, two-parameter Lognormal, three-parameter Lognormal, Gamma, Log-Pearson Type III, and Gumbel distributions were evaluated using the Kolmogorov-Smirnov, chi-square, and Anderson-Darling tests. The Log-Pearson Type III distribution showed the best overall performance and yielded corrected maximum precipitation estimates ranging from 32.808 mm for a 2-year return period to 98.126 mm for a 1000-year return period. The curves were generated using the Dick Peschke, Coefficients, Frederick Bell adapted by Yance Tueros, and IILA-SENAMHI-UNI methods. Validation showed virtually exact agreement with Excel and favorable agreement with HIDROESTA, although the differences increased for high return periods. Hidrology v.1.0.0 completed the processing in approximately 5 minutes, compared with 45 minutes in Excel and 30 minutes in the combined HIDROESTA-Excel procedure, representing reductions of 89% and 83%, respectively. It is concluded that the program automates and organizes hydrological analysis, improves calculation traceability, and provides an academic and technical support tool; its results should be interpreted within the local scope of the study and contrasted with official sources for final engineering projects.

Keywords: IDF curves, design hyetographs, maximum precipitation, hydrological analysis, Visual Basic.

I. INTRODUCCIÓN

Las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) relacionan la intensidad media de la precipitación con la duración del evento y su periodo de retorno. Estas relaciones constituyen un insumo esencial para definir tormentas de diseño, estimar caudales máximos y dimensionar drenajes, alcantarillas, canales y otras obras hidráulicas y agrícolas (Chow et al., 1988; Lanciotti et al., 2022). Los hietogramas de diseño complementan este análisis al representar la distribución temporal de la lluvia dentro de un evento, condición necesaria para simular la transformación lluvia-escorrentía y evaluar la respuesta de una cuenca.

La construcción de curvas IDF requiere registros pluviográficos de alta resolución, control de calidad de la información, análisis de frecuencia de eventos extremos y selección de una distribución de probabilidad apropiada. En regiones andinas, la densidad limitada de estaciones y la disponibilidad predominante de datos diarios obligan con frecuencia a desagregar la precipitación máxima en 24 horas mediante formulaciones empíricas. La resolución temporal y la longitud de las series condicionan la confiabilidad de los cuantiles estimados, especialmente cuando se extrapolan periodos de retorno altos (Sun et al., 2019; Huerta et al., 2022).

En el Perú, el SENAMHI dispone de información pluviométrica y metodologías de alcance nacional para la estimación de curvas IDF. No obstante, el análisis local sigue demandando procedimientos sucesivos: revisión de datos, evaluación de consistencia, ajuste probabilístico, estimación de precipitaciones de diseño, desagregación temporal, ajuste de ecuaciones y representación gráfica. Cuando estas etapas se ejecutan manualmente o en aplicaciones separadas, aumentan el tiempo de procesamiento y la posibilidad de errores de transcripción o formulación. La automatización computacional permite estandarizar los cálculos, conservar la trazabilidad y facilitar la comparación entre métodos (Chang et al., 2013; Stenta et al., 2005).

La investigación desarrolló una herramienta en Visual Basic .NET que integra seis distribuciones de probabilidad, tres pruebas de bondad de ajuste y cuatro métodos para la generación de intensidades, curvas IDF e hietogramas. El enfoque del programa es local y computacional: utiliza una serie de precipitación máxima en 24 horas de una estación específica o, alternativamente, parámetros regionales del método IILA-SENAMHI-UNI. Por tanto, no reemplaza la plataforma oficial IDF-Perú, cuyo enfoque regional y procedimientos metodológicos son diferentes.

El objetivo del estudio fue desarrollar un programa computacional para obtener curvas IDF y hietogramas de diseño mediante Visual Basic 10.9 en Ayacucho. Los objetivos específicos

fueron precisar el modelo matemático, comprobar el funcionamiento de la herramienta mediante validación comparativa y elaborar un manual de usuario que permita su aplicación por estudiantes y profesionales.

II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo y diseño de investigación

El estudio fue de tipo aplicado y nivel descriptivo, con alcance propositivo de desarrollo tecnológico. Presentó un diseño no experimental porque utilizó información pluviométrica histórica sin manipular las variables, y una validación comparativa porque contrastó las salidas del programa con Microsoft Excel y HIDROESTA.

La población estuvo constituida por las estaciones pluviométricas y meteorológicas operadas por el SENAMHI en Ayacucho. Para la demostración y validación funcional se seleccionó intencionalmente la estación meteorológica Huanta, debido a la disponibilidad y continuidad de su serie de precipitación máxima en 24 horas. La muestra comprendió 27 registros anuales correspondientes al periodo 1992-2018, con valores entre 20.6 y 55.1 mm.

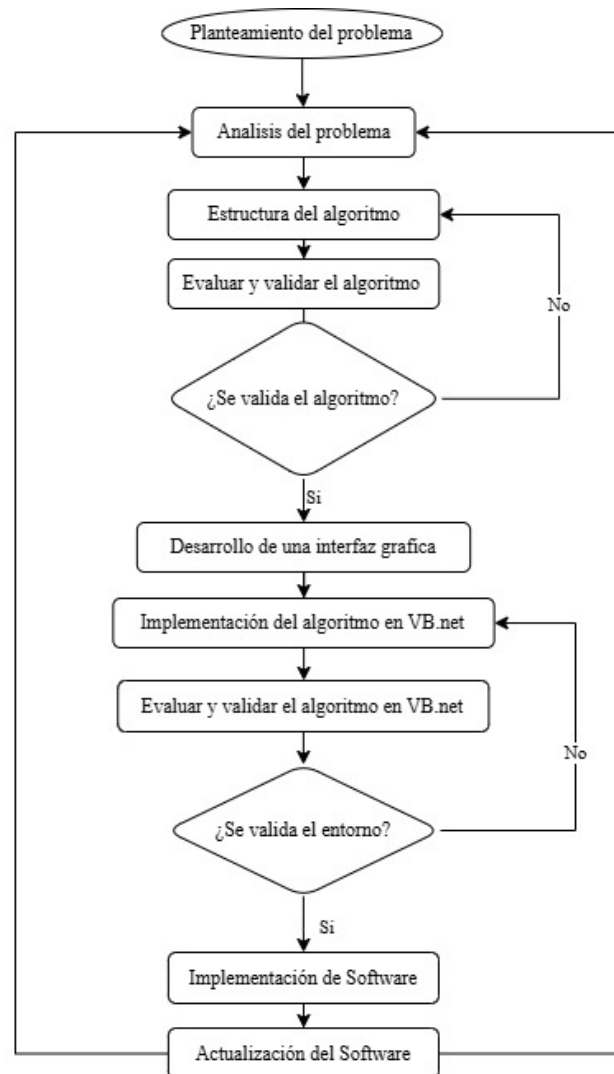
2.2. Fases del procedimiento

El procesamiento se organizó en tres fases secuenciales y complementarias:

- Fase I: análisis hidrológico-estadístico de la información pluviométrica, que comprendió preparación de la serie, detección de datos dudosos, pruebas de consistencia, análisis de frecuencia, estimación de precipitaciones de diseño y generación de intensidades.
- Fase II: implementación computacional del procedimiento en Visual Studio mediante Visual Basic .NET, con una interfaz gráfica y módulos funcionales interrelacionados.
- Fase III: validación comparativa y organización de resultados mediante la confrontación de parámetros, precipitaciones, intensidades y ecuaciones IDF con Excel e HIDROESTA.

Figura 1

Diagrama de flujo del diseño del programa computacional



Nota: El diagrama resume la secuencia de análisis del problema, estructuración y validación de algoritmos, desarrollo de la interfaz, implementación en Visual Basic .NET y actualización del software. Fuente: tesis de investigación.

2.3. Análisis estadístico y probabilístico

La serie fue revisada en formato tabular y sometida al análisis de datos dudosos mediante el criterio USBR. Los registros identificados fuera de los límites estadísticos no se eliminaron automáticamente, sino que se evaluaron considerando su plausibilidad hidrológica, debido a que un evento extremo válido contiene información relevante para el diseño.

La consistencia se evaluó mediante las pruebas de Wald-Wolfowitz para aleatoriedad, autocorrelación para independencia, Mann-Whitney y t de Student para homogeneidad, y Mann-Kendall, Spearman y regresión lineal para tendencia. El nivel de significancia fue de 5 %. Posteriormente, se ajustaron las distribuciones Normal, Log-Normal II, Log-Normal III, Gamma, Log-Pearson III y Gumbel mediante momentos ordinarios. La bondad de ajuste se verificó con Kolmogorov-Smirnov, Chi-cuadrado y Anderson-Darling.

2.4. Generación de curvas IDF e hietogramas

Las precipitaciones máximas estimadas para cada periodo de retorno fueron corregidas internamente con el factor 1.13 indicado en la metodología de la tesis. Luego se aplicaron los métodos de Dick Peschke, Coeficientes y Frederich Bell adaptado por Yance Tueros para desagregar la precipitación de 24 horas. El método IILA-SENAMHI-UNI se incorporó como ruta alternativa cuando no se dispone de una serie histórica suficiente.

La intensidad se obtuvo como la relación entre la precipitación acumulada y la duración del evento. Las curvas IDF se parametrizaron con la ecuación de Bernard, $I = K T^m / t^n$, donde I es la intensidad, T el periodo de retorno, t la duración y K, m y n los parámetros de ajuste. Los hietogramas se construyeron mediante bloques alternos para duraciones e intervalos definidos por el usuario.

Tabla 1

Métodos de obtención de curvas IDF implementados en el programa computacional

Método	Tipo	Información requerida	Productos generados
Dick Peschke	Empírico	P _{máx} en 24 h	Intensidades, curvas IDF e hietograma
Frederich Bell adaptado por Yance Tueros	Empírico	P _{máx} en 24 h	Intensidades, curvas IDF e hietograma
Coeficientes	Empírico	P _{máx} en 24 h	Intensidades, curvas IDF e hietograma
IILA-SENAMHI-UNI	Alternativo	Parámetros regionales y geográficos	Intensidades, curvas IDF e hietograma

Nota: Síntesis de la Tabla 7 de la tesis. El método IILA-SENAMHI-UNI no requiere una serie histórica de precipitación máxima en 24 horas.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

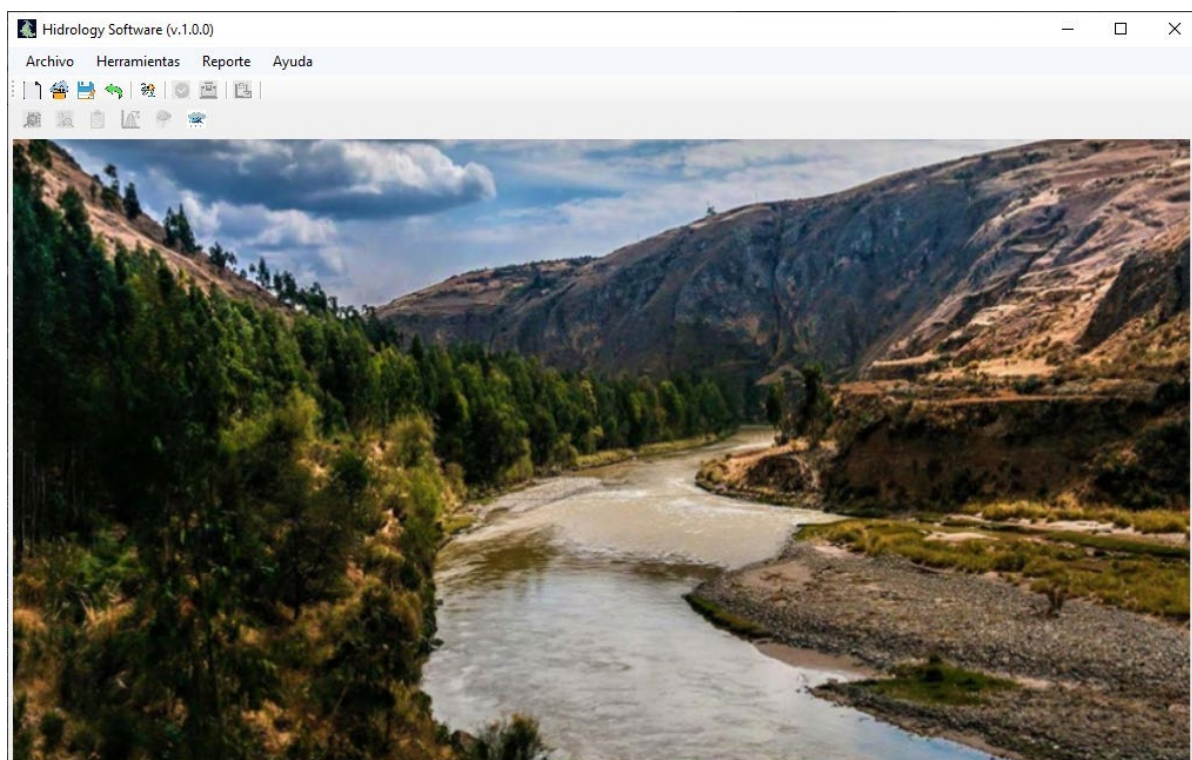
3.1. Desarrollo e interfaz del programa

El modelo matemático fue implementado en una arquitectura modular que separa la gestión de datos, el análisis de valores dudosos, las pruebas estadísticas, el ajuste probabilístico, la generación de curvas IDF y el módulo IILA-SENAMHI-UNI. La secuencia obliga a que los resultados de una etapa constituyan el insumo de la siguiente, lo que reduce la manipulación manual y facilita la revisión del proceso.

La interfaz principal permite acceder a las opciones Archivo, Herramientas, Reporte y Ayuda. Los módulos presentan tablas y gráficos de manera independiente, pero conservan la conexión entre datos de entrada, parámetros estimados y resultados hidrológicos. La exportación de reportes y hietogramas permite conservar evidencia del cálculo realizado.

Figura 2

Interfaz principal del programa Hidrology v.1.0.0



Nota: La interfaz centraliza el acceso a los módulos de datos, análisis estadístico, distribuciones, curvas IDF, hietogramas, reportes y ayuda. Fuente: programa desarrollado en la tesis.

3.2. Consistencia estadística de la serie

Los resultados de las pruebas aplicadas a la serie de Huanta se presentan en la Tabla 2. La tesis reporta aceptación en aleatoriedad, independencia, Mann-Whitney y Mann-Kendall, mientras que t de Student, Spearman y regresión lineal fueron rechazadas al 5 %.

Tabla 2

Resultados del análisis estadístico de la serie de precipitación máxima en 24 horas

Criterio	Prueba	Estadístico	Valor crítico	Decisión al 95 %
Aleatoriedad	Wald-Wolfowitz	-0.77	1.96	Se acepta
Independencia	Autocorrelación r_k	0.32	1.96	Se acepta
Homogeneidad	Mann-Whitney	-1.94	1.96	Se acepta
Homogeneidad	t de Student	2.50	2.06	Se rechaza
Tendencia	Mann-Kendall	-1.77	1.96	Se acepta
Tendencia	Spearman	-2.09	2.05	Se rechaza
Tendencia	Regresión lineal	-1.79	1.70	Se rechaza

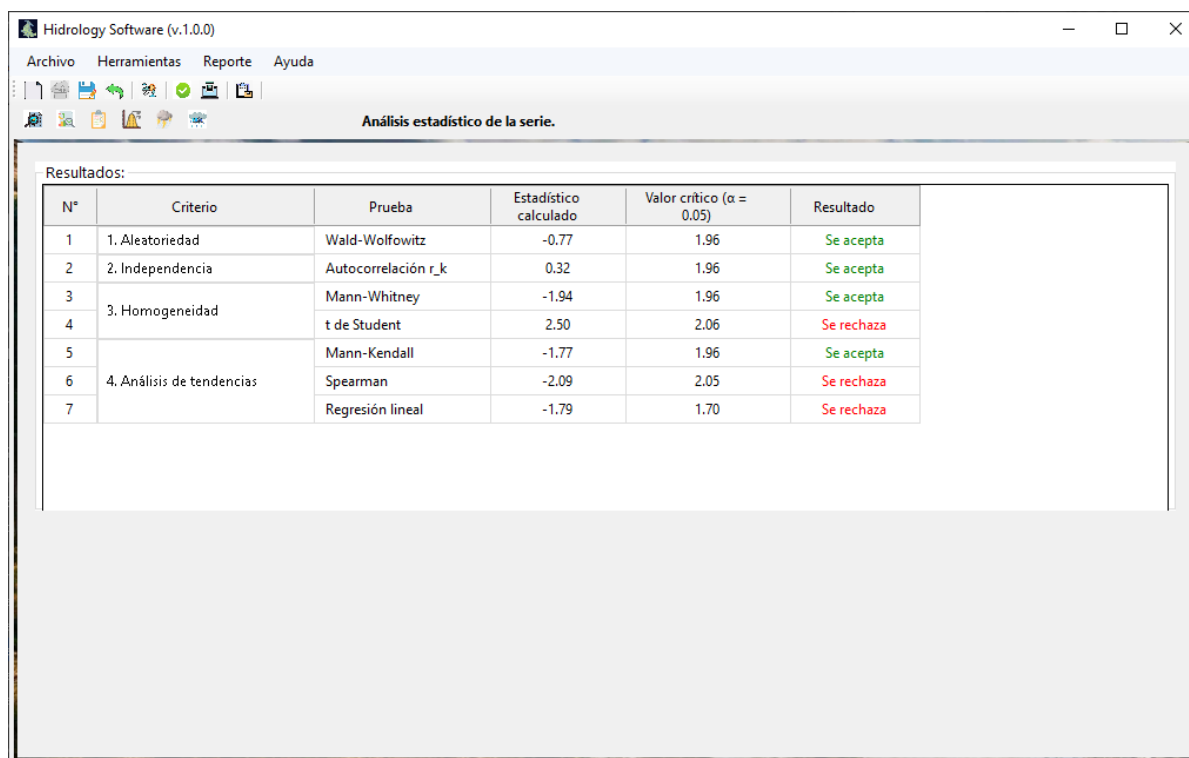
Nota: La tabla reproduce las decisiones reportadas en la tesis. En lenguaje inferencial, “se acepta” debe entenderse como que no se rechazó la hipótesis nula con $\alpha = 0.05$.

La evidencia no fue completamente uniforme: una prueba de homogeneidad y dos pruebas de tendencia detectaron diferencias, mientras que otras pruebas aplicadas al mismo criterio no las detectaron. Por ello, los resultados permitieron continuar con la demostración y la validación del programa, pero la serie requiere interpretación cautelosa antes de emplearse como base única de un diseño definitivo. Esta situación también muestra la utilidad del módulo: el

software no solo calcula, sino que deja visibles las discrepancias entre pruebas para que el especialista adopte una decisión técnica.

Figura 3

Interfaz del módulo de análisis estadístico de la serie



N°	Criterio	Prueba	Estadístico calculado	Valor crítico ($\alpha = 0.05$)	Resultado
1	1. Aleatoriedad	Wald-Wolfowitz	-0.77	1.96	Se acepta
2	2. Independencia	Autocorrelación r_k	0.32	1.96	Se acepta
3	3. Homogeneidad	Mann-Whitney	-1.94	1.96	Se acepta
4		t de Student	2.50	2.06	Se rechaza
5	4. Análisis de tendencias	Mann-Kendall	-1.77	1.96	Se acepta
6		Spearman	-2.09	2.05	Se rechaza
7		Regresión lineal	-1.79	1.70	Se rechaza

Nota: La interfaz presenta el criterio, la prueba, el estadístico calculado, el valor crítico y la decisión para cada supuesto evaluado. Fuente: programa desarrollado en la tesis.

3.3. Ajuste de distribuciones de probabilidad

La serie presentó una media de 30.9407 mm, desviación estándar de 8.7521 mm y coeficiente de asimetría de 1.283, lo que evidencia asimetría positiva. Este comportamiento justificó evaluar distribuciones capaces de representar colas derechas y eventos extremos. La Tabla 3 sintetiza las tres pruebas de bondad de ajuste.

Tabla 3

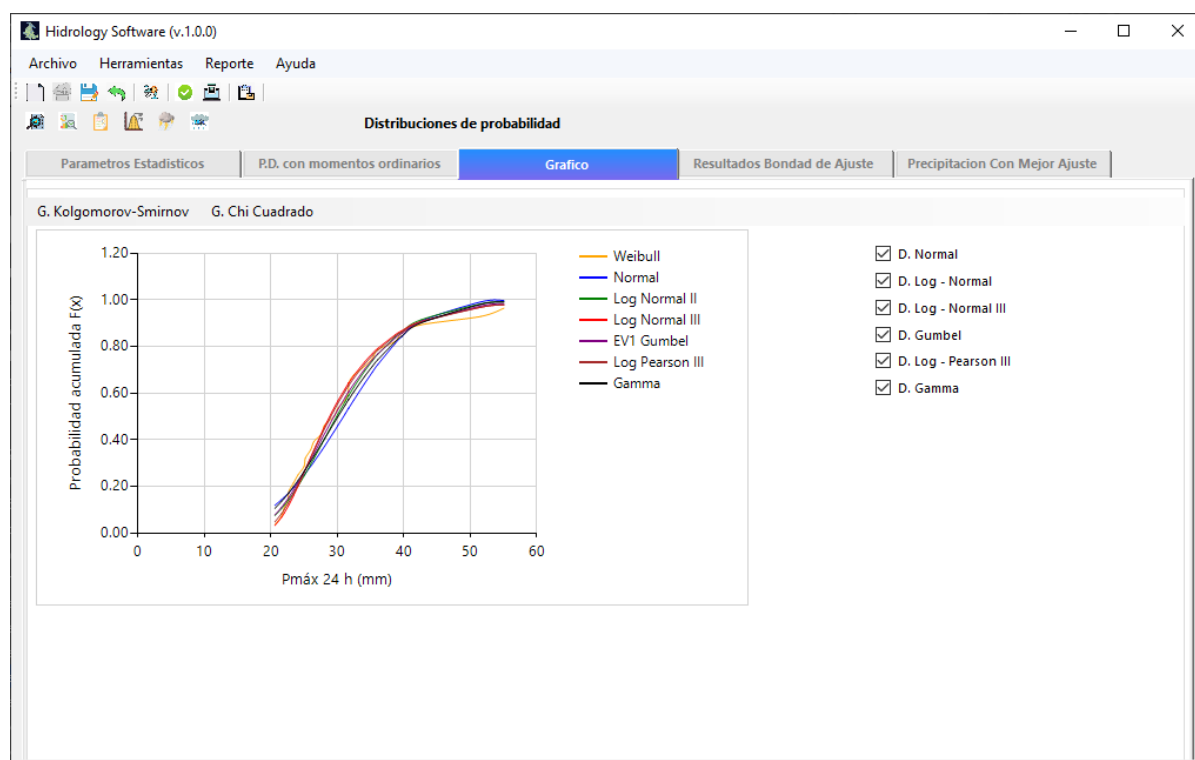
Síntesis de las pruebas de bondad de ajuste ($\alpha = 0.05$)

Distribución	K-S $\Delta_{\text{máx}}$	Chi-cuadrado X^2 / decisión	Anderson-Darling A^2 / decisión
Log-Pearson III	0.0476	3.658 / Se ajusta	0.1450 / Se ajusta
Log-Normal III	0.0586	3.738 / Se ajusta	0.1471 / Se ajusta
EV1-Gumbel	0.0520	4.071 / Se ajusta	0.2464 / Se ajusta
Gamma	0.0724	5.601 / Se ajusta	0.4822 / Se ajusta
Log-Normal II	0.0726	6.277 / Se rechaza	0.3487 / Se ajusta
Normal	0.1083	11.775 / Se rechaza	0.8595 / Se rechaza

Nota: K-S: Kolmogorov-Smirnov. La distribución Log-Pearson III ocupó el primer lugar en las tres evaluaciones y fue seleccionada para estimar las precipitaciones de diseño.

Figura 4

Ajuste gráfico de distribuciones de probabilidad acumulada para $P_{\text{máx}} 24 h$



Nota: El gráfico compara la distribución empírica con los modelos Normal, Log-Normal, Gumbel, Log-Pearson III y Gamma. Fuente: programa desarrollado en la tesis.

La Log-Pearson III fue adoptada porque presentó la menor diferencia máxima en Kolmogorov-Smirnov, el menor estadístico aceptado en Chi-cuadrado y el menor valor de Anderson-Darling. Además, su capacidad para representar la asimetría positiva de la serie fue coherente con el comportamiento de los máximos anuales. Las precipitaciones corregidas estimadas se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4

Precipitación máxima en 24 horas con mejor ajuste Log-Pearson III

Periodo de retorno T (años)	$P_{\text{máx}}$ corregida (mm)
2	32.808
3	36.777
5	41.451
10	47.693
20	54.084
25	56.199
30	57.953
50	63.005
100	70.230
200	77.948
300	82.716
500	89.016
1000	98.126

Nota: Los valores incluyen el factor de corrección 1.13 aplicado internamente por el programa, de acuerdo con la metodología de la tesis.

3.4. Curvas IDF y hietogramas de diseño

La parametrización mediante la ecuación de Bernard produjo los coeficientes de la Tabla 5. En todos los métodos, el exponente n fue positivo, por lo que la intensidad disminuye al aumentar la duración, mientras que m fue positivo y expresa el incremento de la intensidad con el periodo de retorno.

Tabla 5

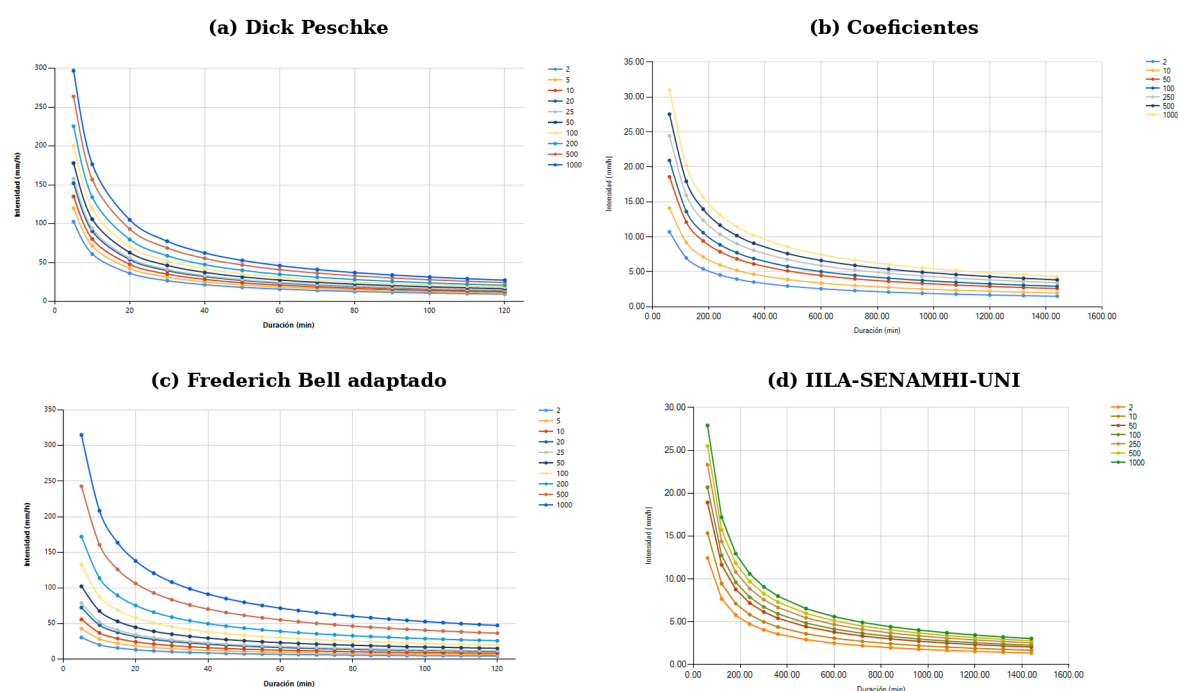
Parámetros de las ecuaciones IDF obtenidas por el programa

Método	K	m	n
Dick Peschke	304.789	0.171	0.750
Coeficientes	119.950	0.171	0.619
Frederich Bell adaptado por Yance Tueros	61.518	0.375	0.595
IILA-SENAMHI-UNI	199.067	0.130	0.699

Nota: Valores reportados en las Tablas 23 a 26 de la tesis. La parametrización se realizó de forma independiente para cada método.

Figura 5

Curvas IDF generadas por los cuatro métodos implementados



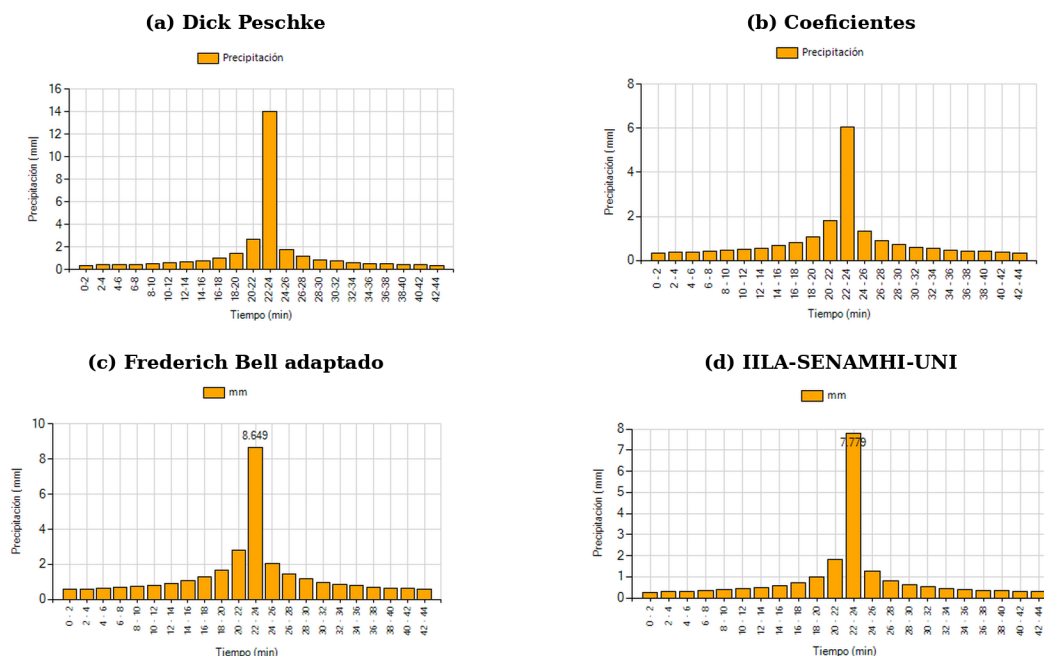
Nota: (a) Dick Peschke; (b) Coeficientes; (c) Frederich Bell adaptado por Yance Tueros; (d) IILA-SENAMHI-UNI. En todos los casos la intensidad disminuye con la duración y aumenta con el periodo de retorno. Fuente: resultados gráficos de la tesis.

El método de Dick Peschke produjo una concentración mayor de intensidades en duraciones cortas. Frederich Bell adaptado por Yance Tueros también generó intensidades elevadas en el inicio del evento, pero con parámetros propios de su formulación. El método de Coeficientes mostró un comportamiento intermedio y extendió el análisis hasta 24 horas. IILA-SENAMHI-UNI generó escenarios basados en parámetros regionales y resultó útil como alternativa

preliminar cuando la información histórica es limitada. Las diferencias entre métodos responden a sus supuestos y rangos de aplicación, no necesariamente a fallas del programa.

Figura 6

Hietogramas de diseño obtenidos mediante bloques alternos



Nota: (a) Dick Peschke; (b) Coeficientes; (c) Frederick Bell adaptado por Yance Tueros; (d) IILA-SENAMHI-UNI. Los máximos se ubican en el bloque central y los incrementos se distribuyen alternadamente hacia ambos lados. Fuente: resultados gráficos de la tesis.

Los hietogramas conservaron la precipitación total del evento y concentraron el mayor bloque cerca del centro, conforme al procedimiento de bloques alternos. La forma y el valor del pico variaron con el método, la duración total y el intervalo seleccionado. Esta flexibilidad permite evaluar escenarios distintos, pero exige que el usuario defina parámetros coherentes con el tiempo de concentración y las características del proyecto.

3.5. Validación comparativa

La validación interna verificó la continuidad entre módulos: las precipitaciones de diseño correspondieron a la distribución seleccionada; las intensidades mantuvieron la relación precipitación-duración; la suma de los bloques coincidió con la precipitación del evento; y las ecuaciones IDF representaron las intensidades calculadas. La comparación externa confirmó una coincidencia prácticamente exacta con Excel.

Tabla 6

Comparación de precipitaciones Log-Pearson III entre el programa, Excel e HIDROESTA

T (años)	Programa VB.NET	Excel	HIDROESTA	VB-HID (mm)
2	32.808	32.808	32.804	0.004
10	47.693	47.694	47.720	0.027

T (años)	Programa VB.NET	Excel	HIDROESTA	VB-HID (mm)
50	63.005	63.006	62.964	0.041
100	70.230	70.232	70.105	0.125
200	77.948	77.949	77.654	0.294
300	82.716	82.718	82.287	0.429
500	89.016	89.018	88.332	0.684
1000	98.126	98.129	96.898	1.228

Nota: Selección de periodos de retorno de la Tabla 49 de la tesis. La diferencia con HIDROESTA aumenta en la extrapolación de periodos altos, mientras que Excel reproduce prácticamente los mismos valores del programa.

La diferencia máxima observada entre el programa y Excel en la selección presentada fue 0.003 mm. Frente a HIDROESTA, la diferencia fue pequeña en periodos bajos y medios, pero alcanzó 1.228 mm a 1000 años. Este comportamiento es compatible con la sensibilidad de las colas probabilísticas a la parametrización y al procedimiento numérico; por ello, la tesis recomienda cautela en eventos de retorno elevado.

Tabla 7

Tiempo aproximado de procesamiento y reducción obtenida

Procedimiento	Tiempo (min)	Reducción de Hidrology respecto al procedimiento
Hidrology v.1.0.0	5	Referencia
Microsoft Excel	45	89 %
HIDROESTA-Excel	30	83 %

Nota: Tiempos reportados en la conclusión 3 de la tesis bajo las condiciones evaluadas.

La reducción del tiempo se explica por la integración de cálculos que en Excel o en el procedimiento combinado requieren transferencia de datos, configuración de fórmulas y elaboración manual de gráficos. El programa no elimina la necesidad de revisión técnica, pero disminuye las tareas repetitivas y facilita la reproducción del análisis.

3.6. Alcance y limitaciones

El programa constituye una herramienta académica y técnica de apoyo para análisis locales, comparación de métodos y comprensión del proceso hidrológico-estadístico. La confiabilidad de las salidas depende de la calidad, continuidad, longitud y representatividad espacial de la serie ingresada, así como de la distribución y el método seleccionados.

La metodología implementada no es equivalente a la metodología regional del SENAMHI. En consecuencia, las curvas generadas no sustituyen la plataforma oficial IDF-Perú. Para expedientes técnicos, proyectos definitivos o infraestructuras de alta responsabilidad, los resultados deben contrastarse con información oficial actualizada y ser evaluados por un especialista.

CONCLUSIONES

1. Se desarrolló un programa computacional en Visual Basic .NET, implementado en Visual Studio, capaz de integrar el ingreso de precipitación máxima en 24 horas, el análisis de

datos dudosos, las pruebas estadísticas, el ajuste de distribuciones de probabilidad, la generación de intensidades, curvas IDF e hietogramas de diseño.

2. El modelo matemático incorporó las distribuciones Normal, Log-Normal II, Log-Normal III, Gamma, Log-Pearson III y Gumbel, evaluadas con Kolmogorov-Smirnov, Chi-cuadrado y Anderson-Darling. Para la serie Huanta 1992-2018, Log-Pearson III presentó el mejor desempeño global. Las pruebas de consistencia mostraron resultados mixtos en homogeneidad y tendencia, por lo que la aplicación de la serie debe acompañarse de revisión técnica.
3. La validación mostró coincidencia prácticamente exacta entre Hidrology y Excel, así como concordancia favorable con HIDROESTA. El tiempo de procesamiento fue aproximadamente 5 minutos, frente a 45 minutos en Excel y 30 minutos en el procedimiento HIDROESTA-Excel, con reducciones de 89 % y 83 %, respectivamente.
4. La herramienta permitió implementar los métodos de Dick Peschke, Coeficientes, Frederick Bell adaptado por Yance Tueros e IILA-SENAMHI-UNI y generar sus representaciones tabulares y gráficas. El manual de usuario complementa el software y facilita su aplicación por estudiantes y profesionales. Los resultados deben utilizarse dentro del alcance local y académico de la investigación y no como sustituto de la información oficial del SENAMHI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bell, F. C. (1969). Generalized rainfall-duration-frequency relationships. *Journal of the Hydraulics Division*, 95(1), 311-328. <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0001942>
- Chang, K. B., Lai, S. H., & Faridah, O. (2013). RainIDF: Automated derivation of rainfall intensity-duration-frequency relationship from annual maxima and partial duration series. *Journal of Hydroinformatics*, 15(4), 1224-1233. <https://doi.org/10.2166/hydro.2013.192>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.
- Coles, S. (2001). *An introduction to statistical modeling of extreme values*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3675-0>
- Hamed, K. H. (2008). Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of Hydrology*, 349(3-4), 350-363. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.11.009>
- Helsel, D. R., Hirsch, R. M., Ryberg, K. R., Archfield, S. A., & Gilroy, E. J. (2020). *Statistical methods in water resources*. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/tm4A3>
- Huerta, A., Lavado-Casimiro, W., & Felipe-Obando, O. (2022). High-resolution gridded hourly precipitation dataset for Peru (PISCOp_h). *Data in Brief*, 45, 108570. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108570>
- Lanciotti, S., Ridolfi, E., Russo, F., & Napolitano, F. (2022). Intensity-duration-frequency curves in a data-rich era: A review. *Water*, 14(22), 3705. <https://doi.org/10.3390/w14223705>

- Lau, A., & Behrangi, A. (2022). Understanding intensity-duration-frequency (IDF) curves using IMERG sub-hourly precipitation against dense gauge networks. *Remote Sensing*, 14(19), 5032. <https://doi.org/10.3390/rs14195032>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Mann, H. B., & Whitney, D. R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Annals of Mathematical Statistics*, 18(1), 50-60. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491>
- Pizarro, R., Abarza, A., Fariás, C., & Jordán, C. (2003). Construcción de curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) en zonas semiáridas de Chile Central. Universidad de Talca.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2021). Desarrollo de curvas pluviométricas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en Perú. Ministerio del Ambiente.
- Stenta, H., Rentería, J. P., & Riccardi, G. (2005). Plataforma computacional para gestión de información en la simulación hidrológica-hidráulica del escurrimiento superficial. Congreso Nacional del Agua y III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur.
- Sun, Y., Wendi, D., Kim, D. E., & Liong, S.-Y. (2019). Deriving intensity-duration-frequency (IDF) curves using downscaled in situ rainfall assimilated with remote sensing data. *Geoscience Letters*, 6(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s40562-019-0147-x>
- Yan, H., Sun, N., Wigmosta, M., Skaggs, R., Hou, Z., & Leung, R. (2018). Next-generation intensity-duration-frequency curves for hydrologic design in snow-dominated environments. *Water Resources Research*, 54(2), 1093-1108. <https://doi.org/10.1002/2017WR021290>