



Curvas Intensidad Duración Frecuencia y hietograma de una precipitación sintética para la cuenca del Río Chone

Intensity Duration Frequency curves and hietogram of a synthetic precipitation for the Chone River basin

Autores

Patricio Giler Medina¹*

<https://orcid.org/0000-0001-9276-4638>

Evelin Zambrano Andrade¹

<https://orcid.org/0009-0004-3919-9720>

¹Facultad de Ingeniería Ingeniería, Industria y Arquitectura. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

* Autor para correspondencia.

patricio.giler@jm.uleam.edu.ec

Citacion sugerida: Giler, M. P., Zambrano, A. E. (2023). Curvas Intensidad Duración Frecuencia y hietograma de una precipitación sintética para la cuenca del Río Chone. *Revista de investigaciones en energía, medio ambiente y tecnología. RIEMAT*, 8(1), pp. 33-44. <https://doi.org/10.33936/riemat.v8i1.6409>

Recibido: 27/02/2023

Aceptado: 20/03/2023

Publicado: 02/05/2023

Resumen

La hidrometeorología de la cuenca del río Chone se enfrenta a diversos escenarios que conducen a inundaciones interanuales. El propósito de la investigación fue establecer la respuesta de una precipitación sintética en base a la relación entre la intensidad de un aguacero, la duración y la recurrencia en periodos de diseño. Para ello, se utilizó la metodología de las curvas Intensidad Duración Frecuencia y el método del bloque alterno en la elaboración del hietograma de trabajo. La aplicación de la ecuación de Bernard permitió obtener una precipitación ajustada de 289 mm cada 100 años. Esta metodología es fundamental para entender el comportamiento hidrometeorológico de la cuenca y planificar adecuadamente las infraestructuras hidráulicas. Finalmente, la hidrometeorología de la cuenca demostró que en una duración de 30 minutos se generaría una precipitación máxima de 24.5 mm en un período de retorno cada 100 años, lo cual es crucial para el diseño de obras de mitigación y prevención de inundaciones.

Palabras clave: Intensidad de Duración; Frecuencia de Curvas; Hietograma; Precipitación; Ecuación de Bernard; Hidrometeorología.

Abstract

The hydrometeorology of the Chone river basin faces various scenarios that lead to interannual flooding. The purpose of the research was to establish the response of a synthetic precipitation based on the relationship between the intensity of a downpour, duration and recurrence in design periods. For this purpose, the methodology of the Intensity Duration Frequency curves and the alternate block method were used in the elaboration of the working hietogram. The application of Bernard's equation made it possible to obtain an adjusted precipitation of 289 mm every 100 years. This methodology is fundamental to understand the hydrometeorological behavior of the basin and to adequately plan hydraulic infrastructures. Finally, the hydrometeorology of the basin showed that a maximum rainfall of 24.5 mm in a 100-year return period would be generated in a 30-minute duration, which is crucial for the design of flood mitigation and prevention works.

Keywords: Intensity Duration; Frequency Curves; Hietogram; Precipitation; Bernard's equation; Hydrometeorology.





1. Introducción

El aprovechamiento adecuado del agua se constituye en un desafío científico y tecnológico que responde a las necesidades sociales y productivas de una población (Campos, 1998). Es así como, la hidrometeorología de la cuenca del río Chone de la provincia de Manabí, en la costa del Pacífico en el centro occidental del Ecuador, se enfrenta a diversos eventos naturales extremos, especialmente, las inundaciones interanuales (Mendoza, 2019).

Es, por tanto, que el estudio hidrometeorológico en la estación meteorológica M0162 Chone – U. Católica, permitiría conocer la posible altura de una lámina de agua, en un periodo de diseño de máximo 100 años y un aguacero de hasta 24 horas, para establecer futuros estudios hidrológicos e hidrodinámicos en la cuenca del río Chone.

En este sentido, la metodología de las curvas Intensidad Frecuencia Duración (Curvas IFD), caracteriza las precipitaciones máximas en una zona a través de la intensidad de precipitación, es decir, la cantidad de lluvia caída en unidades de tiempo, expresada normalmente en mm/h. Se relaciona con la frecuencia y duración con la que ocurre este fenómeno hidrometeorológico, mediante técnicas estadísticas. De esta forma se obtienen las curvas IFD, las que se diseñan en base a intensidades máximas (UNESCO, 2013; Gómez, 2002).

En esta metodología, que es propia para cada zona geográfica (UNESCO, 2013), se sugiere contrastar con el Servidor de datos de frecuencia de precipitaciones del Servicio meteorológico nacional NOAA de los Estados Unidos (NOAA, 2017). Además, para la elaboración de las curvas IDF se empleó el método que se basa en la información pluviográfica de la estación meteorológica M0162 Chone – U. Católica, respecto a los datos de precipitación máxima diaria (en 24 horas) mensuales.

Luego, a partir de la información generada se construyó los hietogramas de trabajo (Mendoza et al., 2020), mediante el registro detallado desde el punto de vista temporal de las láminas de lluvia precipitadas en aguaceros de una cierta intensidad media y un período de recurrencia. En la presente investigación, los hietogramas de los aguaceros, denominados sintéticos, fueron generados con la información las curvas IFD. Se empleó el método de bloque alterno (Chahín, 2017), que especifica la profundidad de precipitación que ocurre en n intervalos de tiempo sucesivos (García, 2020), para confeccionar los hietogramas de trabajo a partir de las curvas IFD.

El propósito de la investigación fue establecer la respuesta de una precipitación sintética (lluvia aproximada) (Diez, 2014), en base a la relación entre la intensidad de un aguacero, la duración y la recurrencia en períodos de diseño, mediante la aplicación del método de las curvas IFD, a través de la ecuación de Bernard, y el método Bloque alterno para la elaboración de hietogramas de trabajo.

Los resultados demostraron que la precipitación máxima se ajustaría en 210 mm cada 100 años, y que la aplicación de la ecuación de Bernard (Martínez De Yuso Bondi, 2023), permitió obtener una precipitación ajustada de 280 mm cada 100 años. Finalmente, la hidrometeorología de la cuenca del Río Chone demostró que en una duración de cinco minutos se generaría una precipitación máxima de 24.5 mm en un período de retorno cada 100 años.

2. Materiales y Métodos

Se empleó el enfoque cuantitativo en el procesamiento de los datos obtenidos y se sustentó teóricamente la investigación mediante el método analítico. Se utilizó la metodología de las curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF) en el procesamiento de las precipitaciones mensuales, y, en la elaboración de los hietogramas se aplicó el método del bloque alterno.

La obtención de las curvas IDF se realizó a partir de la información registrada en el pluviómetro de la

estación meteorológica M0162 Chone – U. Católica. Esta medición se registró en láminas diarias (mm) de lluvia y se obtuvo las láminas máximas (24 horas) de tipo mensual y anual (tabla 1). Esta metodología es de tipo aproximada y puede diferir de los valores reales (Diez, 2014), por esta razón se ajustó en un período de 23 años, entre 1990 y 2012.

Tabla 1

Serie anual de valores de lluvia máxima, 1990-2012.

Año	Serie Anual (mm)	Año	Serie Actual (mm)	Año	Serie Anual (mm)
1990	71.3	2000	58.0	2010	58.400
1991	73.6	2001	140.6	2011	71.325
1992	80.40	2002	73.9	2012	71.325
1993	131.70	2003	58.1		
1994	113.8	2004	99.4		
1995	132.5	2005	77.3		
1996	52.8	2006	112.3		
1997	133.2	2007	81.4		
1998	143.9	2008	55.4		
1999	100.10	2009	53.9		

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la estación climatológica M0126.

Se consideró tres pasos en la obtención de las curvas IDF (UNESCO, 2013): distribución de probabilidad en función de la intensidad máxima de precipitación y una duración determinada; cálculo de las intensidades de la precipitación en períodos de retorno de 5, 10, 20, 50, 100 y 500 años; y, gráfica de las curvas IDF. Para el tercer paso, cada curva representa un período de retorno y el recorrido en la función corresponde a la intensidad media de precipitación (UNESCO, 2013).

Obtenida la serie de trabajo (mensual), se ajustó estadísticamente con la función de distribución acumulada de eventos máximos de Gumbel, como se muestra en la ecuación (1) y sus términos constituyentes en las ecuaciones (2), (3), (4) y (5).

$$F(x_T) = P(x \leq x_T) = e^{[-e]^{-((x_T - u)/\alpha)}} \tag{1}$$

$$\alpha = \sqrt{6}/\pi \cdot S \tag{2}$$

$$u = x - 0.5772 \cdot \alpha \tag{3}$$

$$y_T = -\ln(\ln(T/(T - 1))) \tag{4}$$

$$x_T = \left\{ \alpha \cdot \left[-\ln(\ln(T/(T - 1))) \right] \right\} + u \tag{5}$$

Donde: F(x_T) es la probabilidad de que el límite x_T de la variable aleatoria x no sea superado; x̄ y S son la media y la desviación estándar de la serie de lluvias; α y u son parámetros de la función de Gumbel; y, T es un período de retorno determinado.

Calculado lo anterior, se comprobó la homogeneidad en dos fases(González, 2003): exploratoria, para la detección de comportamientos específicos del registro, mediante el análisis gráfico en curvas de simple masa, donde si en estas no aparecen marcadas pendientes, evidencia un comportamiento uniforme u homogéneo; y, confirmatoria, mediante la prueba t o de Student.

A esto, se aplicó la prueba de bondad de ajuste de Smirnov Kolmogorov para garantizar la calidad de la función seleccionada (González, 2003), como se muestra en la ecuación (6) y (7). Luego se halló el Δ_(K_



Crítico) en la tabla de Kolmogorov y se comparó los valores de Δ . Si $\Delta_{calculado} \leq \Delta_{(K_Crítico)}$ se acepta la hipótesis de que el modelo probabilístico teórico es adecuado, de lo contrario se rechaza el ajuste.

$$\Delta_{calculando} = |P_{(empírica)} - P_{teórica}| \quad (6)$$

$$P_{empírica} = m/(N + 1) \quad (7)$$

Donde: $P_{teórica}$ es la probabilidad teórica calcula en la distribución ordenada de forma decreciente; y, m es el valor de la posición del elemento analizado y N el tamaño de la serie.

Bajo este criterio, con las variables probabilísticas de la serie ajustada y su combinación con el período de retorno se obtuvo los valores de precipitaciones diarias máximas probables para distintos períodos de retorno y para una duración de 24 horas del evento (Campos, 1998). En este proceso se aplicó los coeficientes que se muestran en las tablas 2 y 3.

Tabla 2

Coefficientes aplicados a las lluvias máximas probables de duración 24 horas para obtener sus homólogas correspondientes a tiempos de aguaceros en horas.

Duraciones de los aguaceros o tormentas (horas)									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
Coeficientes aplicados a las lluvias máximas probables de duración 24 horas para obtener sus homólogas correspondientes a tiempos de aguaceros en días.									
0.3	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.8	0.961	1

Fuente: Revisión teórica (Campos, 1998)

Tabla 3

Coefficientes aplicados a las lluvias máximas probables de duración 24 horas para obtener sus homólogas correspondientes a tiempos de aguaceros en días.

Duraciones de los aguaceros o tormentas (días)				
2	4	5	6	7
Coeficientes aplicados a las lluvias máximas probables de duración 24 horas para obtener sus homólogas correspondientes a tiempos de aguaceros en días.				
1.32	1.63	1.85	2.05	2.22

Fuente: Revisión teórica (Campos, 1998)

Se dividió los coeficientes entre la duración del aguacero y se obtuvo las intensidades. En este punto, se graficó los resultados en las curvas intensidad – frecuencia – duración de la estación en estudio. Además, se utilizó la ecuación empírica de Bernard (1932), (González, et al., 2018; Gutierrez et al., 2019), para ajustar las curvas IDF, como se muestra en la ecuación (8)

$$I = (k \cdot T^m) / t^n \quad (8)$$

Donde: T(años) es el período de retorno o frecuencia de ocurrencia; t(min) es el tiempo de duración de la tormenta; I(mm/min) es la intensidad de la lluvia; y, k, m, n son parámetros.

Se empleó hietogramas sintéticos para el registro detallado y temporal de las láminas de lluvia precipitadas en aguaceros de una cierta intensidad media y un período de recurrencia, partiendo de las curvas IDF. Se aplicó sistemáticamente el método del bloque alterno. Primero, se estableció una duración t_d del aguacero (1 hora) y los intervalos de tiempo Δt (5 minutos) de forma tal que $t_d = n \cdot \Delta t$.

Por último, se decidió los períodos de retorno (10, 25 y 100 años) para elaborar el hietograma, se entra en la curva IFD con cada uno de los valores de tiempo $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots, n\Delta t$ y se obtuvo las intensidades respectivas.

3. Resultados y Discusión

Se procedió a calcular las precipitaciones máximas probables para diferentes frecuencias y eventos de 24 horas de duración. En la serie de trabajo el valor de la media es 88.90 y el valor de la desviación estándar es 30.844, respectivamente; con estos valores y evaluando en las ecuaciones (2) y (3), y se obtuvo $\alpha = 24.049$ y $u = 75.018$. Con estos valores se elaboró la tabla 4.

Tabla 4

Precipitaciones Máximas Probables para distintas frecuencias y evento de 24 horas de duración.

Período de retorno	Variable reducida	Precipitación (mm)	Probabilidad de ocurrencia	Corrección intervalo
T (años)	Y_T	x_T	F(x_T)	X_T
2	0.367	83.830	0.500	97.730
5	1.500	111.090	0.800	125.530
10	2.250	129.135	0.900	145.920
25	3.199	151.940	0.960	171.690
50	3.902	168.850	0.980	190.810
100	4.600	0.990	0.998	209.780
500	6.214	224.447	0.998	253.630

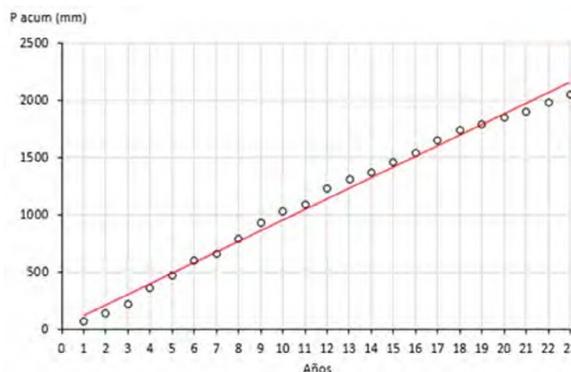
Fuente: Elaboración propia.

En la primera columna se observa los períodos de retorno más empleados en estudios hidrológicos máximos. Luego, en la segunda columna se evaluó la ecuación (4), mientras que en la columna 3 se aplicó la ecuación (5). En la cuarta columna se calculó la probabilidad de ocurrencia de la lluvia de diseño con esa recurrencia y se aplicó la expresión (1). Finalmente se realizó una corrección a los valores calculados de x_T y se los multiplicó (8) (HidroING,2013).

Se realizó el proceso de homogeneidad y se registró que la gráfica de simple masa tiene un comportamiento uniforme por lo que simuló que la serie es homogénea. Se muestra el resultado en la figura 1.

Figura 1

Curva de simple masa de la serie de trabajo.



Fuente: Elaboración propia.



Posteriormente se aplicó la prueba de Student a la serie para cumplir con la fase confirmatoria y poder garantizar la homogeneidad. Con estos valores se elaboró la tabla 5.

Ajustando estos valores se obtuvo los valores de la tabla 6. Con este resultado se determinó que la serie es homogénea, en función de que $T \leq T_{\text{crítico}}$.

Tabla 5

Precipitaciones Máximas Probables para distintas frecuencias y evento de 24 horas de duración.

N	Años	Serie	Nombres	Sub-se-ries	Media	V
1	1990	71.1		71.1		
2	1991	73.6		73.6		
3	1992	80.4		80.4		
4	1993	131.7		131.7		
5	1994	113.8	Sub-	113.8	99.21	1116.94
6	1995	132.5	serie A	132.5		
7	1996	52.8		52.8		
8	1997	133.2		133.2		
9	1998	143.9		143.9		
10	1999	100.1		100.1		
11	2000	58		58		
12	2001	140.6		140.6		
13	2002	73.9		73.9		
14	2003	58.1		58.1		
15	2004	99.4		99.4		
16	2005	77.3	Sub-	77.3	79.446	683.44
17	2006	112.3	serie B	112.3		
18	2007	81.4		81.4		
19	2008	55.4		55.4		
20	2009	53.9		53.9		
21	2010	58.4		58.4		
22	2011	71.3		71.3		
23	2012	73.3		73.3		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6

Resultados finales de la prueba de Student.

V_p	T	y	T_crítico
889.87	1.58	20	1.725

Fuente: Elaboración propia.

Se examinó con la prueba de Smirnov Kolmogorov a un nivel de significancia $\alpha=0.05$ y grado de libertad $\gamma=20$. Se obtuvo $\Delta_{\text{K_Crítico}}=0.28$. Se observó en la tabla 7 que la serie se ajusta a Gumbell.

Tabla 7

Tabla de cálculo de la prueba de Smirnov Kolmogorov.

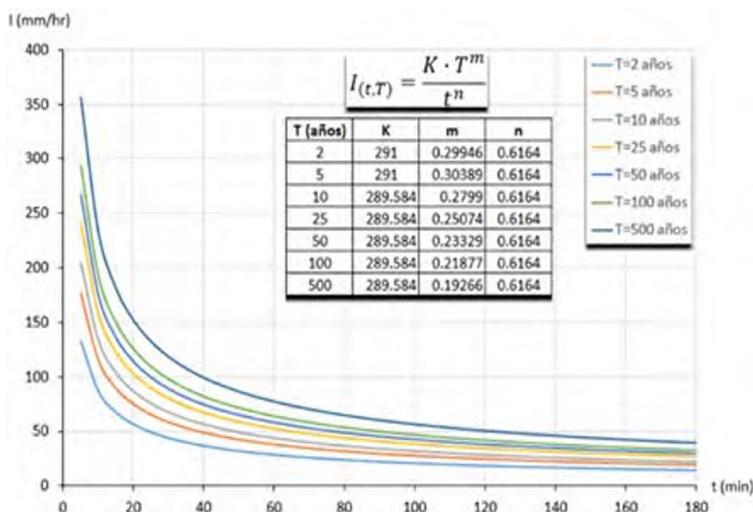
N	Año	Serie Original	Prob empírica	F(x-T)	Δcalc
1	1990	71.3	0.042	0.9446	0.014
2	1991	73.6	0.083	0.9367	0.020
3	1992	80.4	0.125	0.9149	0.040
4	1993	131.7	0.167	0.9125	0.079
5	1994	113.8	0.208	0.9096	0.118
6	1995	132.5	0.250	0.8193	0.069
7	1996	52.8	0.292	0.8088	0.100
8	1997	133.2	0.333	0.7030	0.036
9	1998	143.9	0.375	0.6957	0.071
10	1999	100.1	0.417	0.4644	0.119
11	2000	58	0.458	0.4496	0.092
12	2001	140.6	0.500	0.4027	0.097
13	2002	73	0.542	0.3508	0.108
14	2003	58.1	0.583	0.3462	0.070
15	2004	99.4	0.625	0.3116	0.063
16	2005	77.3	0.667	0.3116	0.022
17	2006	112.3	0.708	0.3116	0.020
18	2007	81.4	0.750	0.1359	0.114
19	2008	55.4	0.792	0.1326	0.076
20	2009	53.9	0.833	0.1314	0.035

Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó los coeficientes de las tablas 2 y 3 a los valores de x_T obtenidos para un aguacero de 24 horas de duración. Se muestran los resultados en la tabla 8.

Figura 2

Curvas IFD para la estación climatológica M0162.



Fuente: Elaboración propia.



Tabla 8

Precipitaciones Máximas Probables para eventos lluviosos de distintas frecuencias y duraciones.

Duración del aguacero		Cf	Valores de Precipitación máxima probable P (mm) en función del período de retorno y la duración de los aguaceros						
(min)	(h)								
60	1	0.3	28.42	37.66	43.78	51.51	57.24	62.93	76.09
120	2	0.39	36.94	48.96	56.91	66.96	74.41	81.81	98.91
180	3	0.46	43.58	57.74	67.13	78.98	87.77	96.50	116.67
240	4	0.52	49.26	65.28	75.88	89.28	99.22	109.09	131.89
300	5	0.57	54	71.55	83.18	97.86	108.76	119.57	144.57
360	6	0.61	57.79	76.57	89.01	104.73	116.39	127.97	154.71
480	8	0.68	64.42	85.36	99.23	116.75	129.75	142.65	172.47
720	12	0.8	75.78	100.43	116.74	137.35	152.64	167.82	202.90
1080	18	0.91	86.20	114.23	132.79	156.24	173.63	190.90	230.80
1440	24	1	94.73	125.53	145.92	171.69	190.80	209.78	253.63

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el proceso de obtención de las curvas de intensidad – frecuencia – duración para la estación M0162. Se dividió los valores de lluvia probable anteriores por su duración y se ajustó las curvas IDF a los valores que toman cada uno de los parámetros K, m, n para cada período de retorno, mediante la expresión de Bernard (Martínez De Yuso Bondi, 2023) y (Vogel, 2012) . Se muestra el resultado en la figura 2. De acuerdo con lo expuesto, se logró obtener una precipitación ajustada de 289 mm cada 100 años mediante la expresión de Bernard.

Mediante el método de bloque alterno, se obtuvo los hietogramas en función a aguaceros de una hora de duración y períodos de retorno (T) de 10, 25 y 100 años. Se presentan los cálculos de los hietogramas en las tablas 9, 10 y 11. Se observó que las precipitaciones máximas en cada período de retorno coinciden con una precipitación de 30 minutos de duración.

Tabla 9

Hietograma de evento de una hora de duración y período de retorno T=10 años.

Duración mínima (min)	Intensidad (mm/h)	Pacum (mm)	P (mm)	Intervalos (min)	P(min)
5	204.566	17.047	17.047	0-5	1.535
10	133.438	22.240	5.192	5-10	1.749
15	103.929	25.982	3.743	10-15	2.065
20	87.041	29.014	3.031	15-20	2.593
25	75.856	31.607	2.593	20-25	3.743
30	67.793	33.896	2.290	25-30	17.047
35	61.648	35.961	2.065	30-35	5.192
40	56.777	37.851	1.890	35-40	3.031
45	52.801	39.600	1.749	40-45	2.290
50	49.481	41.234	1.633	45-50	1.890
55	46.657	42.769	1.535	50-55	1.633
60	44.221	44.221	1.452	55-60	1.452

Fuente: Elaboración propia

Además, como también se apreció en las tablas 9, 10 y 11, la precipitación máxima esperada frente a un aguacero de 60 minutos o una hora de duración puede ser: para un período de retorno de 10 años es de 1.452 mm de lluvia; para un período de retorno de 25 años es de 1.708 mm de lluvia; y, para un período de retorno de 100 años es de 2.087 mm de lluvia.

Tabla 10

Hietograma de evento de una hora de duración y período de retorno $T=25$ años.

Duración mínima (min)	Intensidad (mm/h)	Pacum (mm)	P (mm)	Intervalos (min)	P(min)
5	240.687	20.057	20.057	0-5	1.807
10	156.999	26.167	6.109	5-10	2.58
15	122.280	30.570	4.403	10-15	2.429
20	102.410	34.137	3.567	15-20	3.051
25	89.250	37.187	3.051	20-25	4.403
30	79.763	39.881	2.694	25-30	20.057
35	72.533	42.311	2.429	30-35	6.109
40	66.802	44.535	2.224	35-40	3.567
45	62.124	46.593	2.058	40-45	2.694
50	58.217	48.515	1.922	45-50	2.224
55	54.896	50.321	1.807	50-55	1.922
60	52.029	52.029	1.708	55-60	1.708

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11

Hietograma de evento de una hora de duración y período de retorno $T=100$ años.

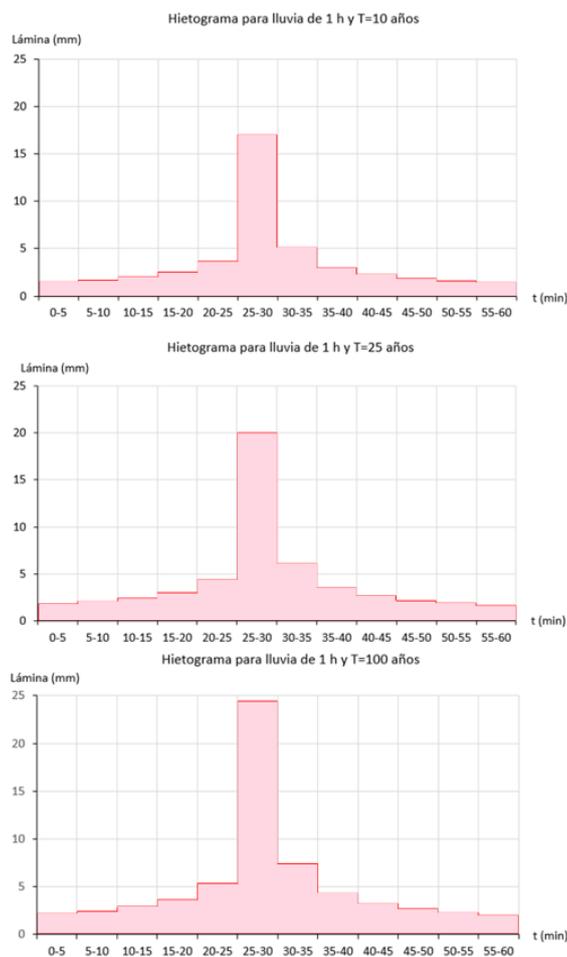
Duración mínima (min)	Intensidad (mm/h)	Pacum (mm)	P (mm)	Intervalos (min)	P(min)
5	294.084	24.507	24.507	0-5	2.207
10	191.830	31.972	7.465	5-10	2.515
15	149.408	37.352	5.830	10-15	2.968
20	125.130	41.710	4.358	15-20	3.728
25	109.050	45.438	3.728	20-25	5.380
30	97.458	48.729	3.292	25-30	24.507
35	88.624	51.698	2.968	30-35	7.465
40	81.622	54.415	2.717	35-40	4.358
45	75.906	56.930	2.515	40-45	3.292
50	71.133	59.278	2.348	45-50	2.717
55	67.074	61.485	2.207	50-55	2.348
60	63.572	63.572	2.087	55-60	2.087

Fuente: Elaboración propia

Por último, se procedió a graficar los hietogramas para los períodos de retorno (T) de 10, 25 y 100 años, como se visualiza en la figura 3.

Figura 3

Hietogramas de lluvias de una hora y períodos de retorno $T=10, 25$ y 100 años.



Fuente: Elaboración propia.

Estos valores multiplicados por sus intervalos de tiempo se denominan lámina de lluvia caída de forma acumulada. Si a estos últimos valores se le calcula las diferencias entre valores sucesivos se puede obtener la precipitación por cada unidad de tiempo Δt . Estos incrementos o bloques se reordenan en una secuencia temporal, de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración y los bloques hacia la derecha e izquierda del central decrecen (Chahín, 2017).

4. Conclusiones

En conclusión, la investigación realizada en la cuenca del río Chone permitió establecer una respuesta a la precipitación sintética en función de la intensidad de un aguacero, la duración y la recurrencia en períodos de diseño. A través del uso de la metodología de las curvas Intensidad Duración Frecuencia y el método del bloque alterno, se pudo elaborar un hietograma de trabajo que permitió aplicar la expresión de Bernard para obtener una precipitación ajustada de 280 mm cada 100 años.

No obstante, la expresión de Bernard se basa en datos históricos que pueden estar sujetos a errores y limitaciones debido a la calidad de los registros, y se asume una distribución de probabilidad específica para la precipitación diaria, ((Martínez De Yuso Bondi, 2023; Serinaldi y Kilsby, 2015), lo que puede no ser aplicable a todas las condiciones climáticas y geográficas en la cuenca del río Chone.

Respecto a la hidrología de la cuenca y los datos obtenidos de la estación meteorológica M0162 Chone-U. Católica, se demostró numérica y gráficamente mediante hietogramas, que en un aguacero de una duración de 30 minutos se generaría una altura de precipitación máxima de 24.5 mm (lámina) de lluvia, en un período de retorno de cada 100 años.

Sin embargo, es preciso indicar que los hietogramas no tienen en cuenta factores importantes como las condiciones climáticas, las condiciones geográficas, la forma de la tormenta o la variabilidad espacial de la precipitación. Esto puede llevar a una subestimación o sobreestimación de la cantidad de agua que se acumula en una cuenca o una zona determinada.

Estos resultados son importantes para la zona, ya que pueden ayudar a implementar medidas preventivas y de mitigación en la cuenca del río Chone para reducir los efectos de las inundaciones interanuales. Esta información puede ser utilizada para desarrollar planes de gestión de riesgos y contingencias en caso de inundaciones, así como en la planificación y diseño de infraestructuras hidráulicas y de control de inundaciones en la cuenca del río Chone.

Finalmente, la aplicación de la expresión de Bernard puede ser utilizada para determinar la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos en la zona, lo que sería útil para la planificación de infraestructuras resistentes y adaptables a precipitaciones extremas (Vogel, 2015). En general, el conocimiento obtenido a través de esta investigación tiene una aplicación directa y práctica en la gestión de riesgos y en la planificación del desarrollo sostenible en la cuenca del río Chone.

5. Referencias bibliográficas

- Campos Aranda D. (1998), Procesos del ciclo hidrológico, San Luis de Potosí: Editorial Universitaria Potosina. <https://www.hidrosm.com/2020/08/libro-procesos-del-ciclo-hidrologico.html>
- Chahín, R. E. G. (2017). Comparación de los métodos: bloques alternos e hietograma histórico para la selección de tormentas de diseño, cuenca del río Chiquito, Tegucigalpa, Honduras. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 12(1), 34-42. Doi: <https://doi.org/10.36829/08ASA.v12i1.1427>
- Diez Hernández J. (2014), «Modelamiento Hidrológico con HEC-HMS (Geo-HMS): pronóstico de crecidas. Fundamentos Modelamiento Hidrológico,» Universidad de Valladolid - ESP. *Grupo de Hidráulica e Hidrología, Valladolid*. http://www.gef-ecohidrologia.org/uploads/2/6/2/7/26276580/fundamentos_inhouse.pdf
- García Mendoza J. (2020), Determinación del hietograma de tormenta sintética para la microcuenca “El Zapallo” en la zona periurbana de la ciudad de Portoviejo, Portoviejo: PUCE-Sede Manabí.
- Gómez Tobón L. y J. Aristizábal Arias, (2002) Obtención de curvas de intensidad - frecuencia - duración para el departamento de Caldas, Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. *Departamento de Ingeniería Civil, p. 1*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2801>
- González, M. C. E. M., Carrillo, J. A. T., & Gutiérrez-López, A. (2018). Empleo del algoritmo GRG Nonlinear en el cálculo de intensidades de lluvia. *Revista NTHE*, 24, 11-15. http://nthe.mx/NTHE_v2/pdfArticulos/PDF_Articulo20200226192053.pdf
- González J., J. Martínez y N. Marrero de León, (2003). Hidrología superficial para ingenieros, *La Habana: CUJAE*. <https://books.google.com.ec/books?id=bNI7swEACAAJ>
- Gutiérrez-López, A., & Barragán-Regalado, R. (2019). Ajuste de curvas IDF a partir de tormentas de corta duración. *Tecnología y ciencias del agua*, 10(6), 1-24. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222019000600001&script=sci_arttext
- HidrojiNG. (2013). Obtener curvas IDF. <https://www.hidrojing.com/obtener-curvas-idf-parte/>



- Martínez De Yuso Bondi, M. (2023). ¿ De qué depende el éxito olímpico de las provincias españolas? Una aplicación del modelo de Bernard y Busse a nivel regional (Bachelor's thesis). <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/68790>
- Mendoza J., K. García, R. Salazar y I. Vivanco.(2019) La Economía de Manabí (Ecuador) entre las sequías y las inundaciones, *Espacios*, vol. 40, n° 16, pp. 10-20. <https://www.revistaespacios.com/a19v40n16/a19v40n16p10.pdf>
- Mendoza-Zambrano N., A. Giler-Ormaza, V. Vásquez, J. Alarcón y J. Félix. (2020) Hietograma sintético de tormenta para la microcuenca El Progreso-Portoviejo, costa ecuatoriana, *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*. vol. 82, n° 1. Doi: <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i1.2472>
- NOAA. (2017). Precipitation Frequency Data Server (PFDS), <http://hdsc.nws.noaa.gov/hdsc/pfds/>.
- Pereyra, S. Pérez y R. Gómez. (2004) «Ecuaciones que estiman las curvas de intensidad-duración-período de retorno de la lluvia,» *GEOS*, vol. 24, n° 1, pp. 46-56.
- Serinaldi F. y C. Kilsby. (2015), «Stationarity is undead: Uncertainty dominates the distribution of extremes». *Advances in Water Resources*, vol. 77, pp. 17-36. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309170815000020>
- Vogel R.(2012), «Properties of frequency curves,» de Handbook of Applied Hydrology, V. Singh, Ed., New York, McGraw-Hill, pp. 18.1-18.42. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/6409>