

Comparación de la curva Repetición, Magnitud y Persistencia de una estación hidrometeorológica con la base de datos climáticos globales de WorldClim

Comparison of the Repetition, Magnitude, and Persistence curve of a hydrometeorological station with the global climatic database from WorldClim



Recibido: julio 2023

Aceptado: septiembre 2023

Victor Rogelio Tirado Picado¹
Director de Investigación y Extensión
Universitaria, Universidad Americana, UAM
Email: victornica2001@yahoo.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7907-0006>

Resumen

El propósito de este artículo, es desarrollar una metodología que lleve a una comparación para la generación de las curvas Repetición, Magnitud y Persistencia, partiendo de la expresión de Gumbel. Se recuperaron base de datos de precipitación de la Estación Aeropuerto de Managua, Nicaragua, y los datos globales de WorldClim. Posteriormente se puso en práctica la metodología con el modelo de regresión potencial, finalmente se valoró la importancia de las curvas Repetición, Magnitud y Persistencia. Se manifestó que la continuidad de los resultados para ambas bases de datos está bien definida a partir de la persistencia de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años, con una repetición de 5 a 60 minutos con un intervalo de 5, la forma de las gráficas es una parábola de regresión potencial. Esto indicó que la base de datos generada a partir de los datos globales de WorldClim se pueden utilizar en un estudio hidráulico cuando se carezca de datos de precipitación. La importancia de generar las curvas de Repetición, Magnitud y Persistencia (RPM), es que se pueden utilizar en hidrología para caracterizar la Magnitud de la lluvia en función de la Repetición y Persistencia. Quedando señalada que estas curvas son muy sustanciales en la planeación de los recursos hídricos, así como para la aplicación de la hidrotecnia vial.

Palabras Clave: Cambio Climático, Gumbel, Magnitud, Repetición, Persistencia.

Abstract

The purpose of this article is to develop a methodology that leads to a comparison for the generation of Repetition, Magnitude, and Persistence curves, starting from the Gumbel expression. Precipitation data from the Managua Airport Station, Nicaragua, and global data from WorldClim were retrieved. Subsequently, the methodology was implemented with the potential regression model, and finally, the importance of Repetition, Magnitude, and Persistence curves was assessed. It was noted that the continuity of results for both databases is well-defined from the persistence of 2, 5, 10, 25, 50, 100, and 500 years, with a repetition from 5 to 60 minutes at intervals of 5 minutes, the shape of the graphs is a potential regression parabola. This indicates that the database generated from WorldClim global data can be used in hydraulic studies when precipitation data is lacking. The importance of generating Repetition, Magnitude, and Persistence (RPM) curves lies in their utility in hydrology to characterize rainfall Magnitude based on Repetition and Persistence. It is emphasized that these curves are crucial in water resources planning and for the application of road hydrotechnics.

Keywords: Climate Change, Gumbel, Magnitude, Repetition, Persistence.

¹Graduado de Post-Doctor de la Atlantic International University, graduado de Máster en Gerencia de Proyectos de Desarrollo de la Universidad Nacional de Ingeniería y graduado de Ingeniero Agrícola de la Universidad Nacional de Ingeniería. Ingeniero consultor y académico.

1. Introducción

Las curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) por largo tiempo han sido referencias para el cálculo de la intensidad en un determinado tiempo de concentración, la metodología para crear las curvas IDF sin modificación es la desarrollado por Gumbel.

Las curvas IDF, son utilizadas de manera frecuente en hidrología, la idea es caracterizar la lluvia en función de su duración y su periodo de retorno. Las curvas son muy importantes en la planificación de los recursos hídricos, así como para el diseño de obras hidráulicas.

Picado (2020), desarrolló una metodología para determinar las curvas en función de la duración y periodo de retorno, es una variante de Gumbel, denominadas curvas RPM, repetición, magnitud y persistencia, tomando en cuenta el tiempo de concentración y el periodo de retorno.

WorldClim es una base de datos meteorológicos y climáticos globales de alta resolución espacial, de donde se pueden obtener las magnitudes de las variables climáticas que se requieren estudiar. Son utilizados para el mapeo y el modelado espacial. Los datos son proporcionados para uso de investigación y actividades relacionadas.

En Nicaragua, el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), es el encargado de velar por los distintos servicios relacionados con los factores meteorológicos, además, es la instancia responsable de operar y explorar la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas y realiza la vigilancia meteorológica nacional.

En tal sentido, la investigación está enfocada en la construcción de las curvas RPM manipulando la base de datos de precipitación, obtenida de una estación nacional de Nicaragua con la base de datos de precipitación obtenida de WorldClim.

2. Objetivos

- Identificar la base de datos de precipitación de la estación hidrometeorológica aeropuerto y la base de datos de precipitación global de WorldClim.
- Desarrollar la metodología comparativa de las curvas Repetición, Magnitud y Persistencia con la variante Gumbell retocada.
- Comprender la importancia de las curvas Repetición, Magnitud y Persistencia en el contexto de la planificación de los recursos hídricos y obras hidráulicas.

3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

El presente trabajo fue diseñado bajo el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo, puesto que este es el que mejor se adapta a las características y necesidades de la presente investigación. El enfoque cuantitativo utilizó recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecida previamente que se traduce en:

lo secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la(s) hipótesis (Hernández et al., 2014. Pág. 5).

Del enfoque cuantitativo se tomó la técnica de la observación, se recolecta la información de base de datos y se pueden cuantificar. La recolección de datos se realiza a través de la observación cuantitativa, ya que permite cuantificar el comportamiento de la precipitación en el tiempo.

3.2 Tiempo de Ejecución

Para el desarrollo de la investigación, se contó con dos meses, tomó un mes obtener los datos de precipitación de una serie de tiempo de 1960 al 2021, climática global de WorldClim, una semana para obtener los datos de precipitación de la estación aeropuerto y tres semanas para desarrollar el informe de investigación, en el periodo de enero a febrero del 2023.

3.3 Técnica y método de recolección de datos

Mediante la descarga de datos meteorológicos climáticos globales de alta resolución de la precipitación, se realiza mapeo mediante el modelo espacial de WorldClim. Asimismo, estos datos se utilizan para la realización de mapeo y modelo espacial, pues los mismos se proporcionan para el empleo de investigaciones y actividades relacionadas.

Mediante la obtención de datos de precipitación de la base de datos de INETER, de la estación aeropuerto, Managua Nicaragua.

- *Fuentes primarias*

Portal de WorldClim; datos climáticos y meteorológicos globales: datos histórico-climáticos, datos meteorológicos mensuales e históricos de precipitación.

Base de datos de la estación aeropuerto, Managua, Nicaragua, obtenida de la Dirección de Meteorología de INETER.

- *Fuentes secundarias*

Artículos científicos relacionados con las curvas RPM.

Artículos científicos relacionados con las curvas IDF.

Bibliografía relacionada con hidrología y curvas IDF.

Biblioteca del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales de Nicaragua (INETER), Dirección de Meteorología.

- *Universo*

Datos climáticos globales de los principales factores meteorológicos.

- *Población*

Será el factor meteorológico de precipitación.

- *Muestra*

Los datos en formato ráster de WorldClim de precipitación regionales en Centroamérica, y datos de precipitación de la estación aeropuerto de Managua, Nicaragua, en el periodo de 1960 a 2021.

- *Criterio de inclusión*

Se trabajó con datos de precipitación en formato ráster de WorldClim regionales en Centroamérica y datos de precipitación medidos a partir de la estación aeropuerto de Managua, Nicaragua.

- *Criterio de exclusión*

Todos aquellos factores meteorológicos que no sean precipitación y que no sean medidos a partir de formato ráster de WorldClim, ni medidos en la estación meteorológica aeropuerto Managua, Nicaragua.

- *Aspectos Teóricos*

De acuerdo a Pulgarín, Poveda & de Ingenieros (2008) hacen referencia a Wilches (2001) y este a su vez cita a Bacchi (1998), quien se basa en "una metodología de escalamiento temporal he identifica zonas "homogéneas" desde el punto de vista del escalamiento

simple". Este autor, también regionalizó los parámetros y aplicó técnicas de Kriging para estimar los valores de dichos parámetros en diversas ubicaciones (Bacchi, 1998, citado en Pulgarín et al., 2008).

En este sentido, Wilches (2001) analiza el comportamiento de los eventos máximos de precipitación a la luz de las teorías de invarianza de escala y multiescala, utilizando 61 estaciones localizadas en una amplia zona del departamento de Antioquia (Colombia) y su relación con las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.

Por otra parte, Acosta Castellanos y Sierra Aponte, (2013), describen la construcción de la curva IDF, a partir de las funciones de distribución, en tal sentido, sintetizan los datos y son analizados a la luz de una frecuencia de parámetros hidrológicos, por medio de distribución de probabilidad, esto se hace con el fin de relacionar la magnitud y la frecuencia de eventos extremos. También, explica que cada función de distribución tiene diferentes parámetros estadísticos y matemáticos. En la mayoría de funciones es común la media aritmética, pues es necesaria para determinar el orden de las intensidades (Acosta Castellanos & Sierra Aponte, 2013).

En la teoría hay otras prácticas de modelos para la determinación de la curva IDF, sin embargo, el estudio de las mismas mantiene un modelo de acuerdo a las características de la zona. Existe otro método que desarrolla Picado (2020), quien toma en cuenta la Repetición, la Magnitud y la Persistencia del evento y desarrolla una metodología que es sencilla y práctica con una variante de distribución de probabilidad de Gumbel.

La metodología está basada a partir de las siguientes expresiones:

$$\text{Ecuación 1} \quad I = \frac{P}{T_d}$$

Donde:

P = cantidad de precipitación en mm
T_d = Tiempo de la tormenta en h

Seguido de la siguiente expresión que relaciona la repetición, magnitud y persistencia:

Ecuación 2

$$I = \frac{K * T^m}{t_c^n}$$

Donde:

I = intensidad en mm/h
T = periodo de retorno en años
t_c = tiempo de concentración en h
K, m, n = coeficientes de ajustes estadísticos

De manera sencilla Picado (2020) sintetiza la prolongación de las curvas RPM para una tormenta de diseño, se aclara en un procedimiento en el que se conjuga la interacción de una repetición con la magnitud y la persistencia. Pudiéndose definir las curvas RPM como el resultado de unir los puntos representativos de la máxima intensidad en intervalos de persistencia y todos ellos correspondientes a un mismo periodo de repetición o retorno, por lo que la expresión (2) se homologa en lo siguiente:

Ecuación 3

$$M = \frac{K * T^m}{P_c^n}$$

Donde:

M = es la magnitud en mm/h
T = periodo de retorno en años
P_c = tiempo de concentración en minutos u horas
K, m, c = coeficientes de dimensiones

Después de la descripción se desarrolla la regresión potencial (Picado, 2020) de la siguiente manera:

Ecuación 4

$$d = K * T^m$$

Ecuación 5

$$M = \frac{d}{P_c^n} = d * P_c^{-n}$$

De la característica de la ecuación potencial:

Ecuación 6

$$y = a * x^b$$

Ecuación 7

$$\log M = \log(d * P_c^{-n})$$

$$\log M = \log d + \log(P_c^{-n})$$

$$\log M = \log d + (-n) \log P_c$$

Estimadores del modelo o estimadores de ajustes:

Ecuación 8

$$b = \frac{\sum \log X * \log Y - \frac{\sum \log X * \sum \log Y}{n}}{\sum (\log X)^2 - \frac{(\sum \log X)^2}{n}}$$

Ecuación 9

$$\log(a) = \frac{\sum \log Y - b * \sum \log X}{n}$$

Donde:

$$\begin{aligned} a &= d \\ b &= -n \end{aligned}$$

Dependiendo del cambio de variable, se realiza otra regresión de potencia, resultando en las siguientes ecuaciones:

Ecuación 10

$$b = \frac{\sum \log X * \log Y - \frac{\sum \log X * \sum \log Y}{n}}{\sum (\log X)^2 - \frac{(\sum \log X)^2}{n}}$$

Ecuación 11

$$\log(a) = \frac{\sum \log Y - b * \sum \log X}{n}$$

Donde:
a = K
b = m

Parámetros estadísticos:

Determinar de la media, ecuación 12

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Determinar la desviación estándar, ecuación 13

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

Determinar el parámetro alfa, ecuación 14

$$\alpha = \frac{1}{0.779696} * \sigma$$

Determinar el parámetro beta, ecuación 15

$$\beta = \bar{X} - 0.450047 * \sigma$$

Finalmente, a partir de la distribución Gumbel, se calcula la precipitación diaria máxima probable para distintas frecuencias, utilizando la siguiente expresión:

Ecuación 16

$$F_{(X)} = e^{-e^{-\left(\frac{\bar{X}-\beta}{\alpha}\right)}}$$

Ecuación 17

$$Y_T = -LN\left(LN\left(\frac{T}{T-1}\right)\right)$$

4. Resultados

A partir de la precipitación mensual se obtienen la precipitación máxima probable por año, y posteriormente, la precipitación máxima diaria probable, este paso se realiza tanto para los datos de la estación aeropuerto como para los datos globales de precipitación de WorldClim. Ver tablas 1, 2, 3 y 4.

Tabla 1.

Datos de precipitación máxima anual de 1958 a 2020, estación aeropuerto

Datos			Precipitación (mm)	Datos			Precipitación (mm)
ID	Año	Máximos	$(X_i - \bar{X})^2$	ID	Año	Máximos	$(X_i - \bar{X})^2$
1	1958	531	60053.00	33	1990	132	23453
2	1959	287	1.84	34	1991	221	4140
3	1960	271	214.41	35	1992	159	15988
4	1961	241	1984.07	36	1993	347	3802
5	1962	398	12601.67	37	1994	223	3887
6	1963	183	10494.54	38	1995	326	1653
7	1964	422	18702.52	39	1996	316	909
8	1965	154	17329.84	40	1997	292	39
9	1966	384	9674.13	41	1998	836	303554
10	1967	223	3936.67	42	1999	349	4027
11	1968	341	3097.72	43	2000	453	27975
12	1969	303	297.81	44	2001	256	843
13	1970	276	91.07	45	2002	474	35441
14	1971	367	6700.59	46	2003	261	612
15	1972	158	16190.74	47	2004	232	2888
16	1973	430	20983.59	48	2005	289	14
17	1974	332	2148.98	49	2006	138	21680
18	1975	325	1525.46	50	2007	300	212
19	1976	265	405.73	51	2008	456	28953
20	1977	210	5661.49	52	2009	171	13074

21	1978	168	13816.32	53	2010	379	8790
22	1979	269	276.98	54	2011	373	7649
23	1980	313	742.95	55	2012	349	4065
24	1981	252	1118.42	56	2013	330	2003
25	1982	519	54735.94	57	2014	217	4753
26	1983	184	10250.12	58	2015	335	2486
27	1984	297	122.26	59	2016	11	75319
28	1985	379	8827.94	60	2017	12	74880
29	1986	213	5204.59	61	2018	10	75704
30	1987	311	673.77	62	2019	11	75154
31	1988	393	11504.09	63	2020	11	75264
32	1989	316	915.49				

Nota: Datos suministrados por el INETER (2023).

Tabla 2

Variables probabilísticas para precipitación de estación aeropuerto

Cálculo de Variables Probabilísticas			
\bar{X}	Ecuación 12	285.44	mm
S	Ecuación 13	139.09	mm
α	Ecuación 14	178.39	mm
β	Ecuación 15	222.84	mm

Nota: Valores obtenidos a partir de la precipitación máxima.

Tabla 3

Datos de precipitación máxima anual de 1958 a 2020, estación aeropuerto

Datos				Precipitación (mm)			
ID	Año	Máximos	$(x_i - \bar{X})^2$	ID	Año	Máximos	$(x_i - \bar{X})^2$
1	1960	339.32	99.05	32	1991	297.83	2,647.17
2	1961	432.99	7,008.37	33	1992	319.85	865.67
3	1962	354.07	23.00	34	1993	344.03	27.49
4	1963	321.10	793.72	35	1994	337.70	134.13
5	1964	401.31	2,707.31	36	1995	366.25	288.13
6	1965	314.28	1,225.05	37	1996	343.38	34.77
7	1966	436.80	7,660.18	38	1997	305.82	1,888.83
8	1967	294.15	3,039.47	39	1998	368.05	352.60
9	1968	359.43	103.03	40	1999	338.74	111.03
10	1969	403.02	2,887.92	41	2000	317.36	1,018.82
11	1970	404.50	3,049.64	42	2001	335.98	176.81
12	1971	286.83	3,899.20	43	2002	333.87	237.47
13	1972	282.04	4,520.32	44	2003	322.20	732.97
14	1973	369.79	420.86	45	2004	315.93	1,111.69

15	1974	376.57	744.72	46	2005	347.21	4.27
16	1975	385.62	1,320.76	47	2006	385.31	1,298.44
17	1976	426.93	6,030.63	48	2007	346.61	7.09
18	1977	331.02	333.45	49	2008	418.30	4,764.54
19	1978	360.69	130.20	50	2009	370.15	435.72
20	1979	365.61	266.84	51	2010	388.92	1,571.41
21	1980	358.12	78.22	52	2011	381.64	1,047.61
22	1981	414.68	4,278.24	53	2012	330.92	337.10
23	1982	333.04	263.76	54	2013	373.89	605.84
24	1983	305.82	1,888.43	55	2014	314.86	1,184.76
25	1984	397.65	2,339.90	56	2015	343.24	36.41
26	1985	300.49	2,380.16	57	2016	318.95	919.99
27	1986	260.69	7,847.73	58	2017	363.05	189.78
28	1987	347.30	3.92	59	2018	334.24	226.19
29	1988	409.74	3,655.70	60	2019	279.38	4,885.87
30	1989	364.76	239.75	61	2020	383.50	1,171.19
31	1990	288.28	3,720.02	62	2021	301.36	2,296.45

Nota: Datos suministrados por WorldClim (2023).

Tabla 4

Variables probabilísticas para precipitaciones de WorldClim

Cálculo de Variables Probabilísticas			
\bar{X}	Ecuación 12	349.28	mm
S	Ecuación 13	41.21	mm
α	Ecuación 14	52.85	mm
β	Ecuación 15	330.73	mm

Nota: Valores obtenidos a partir de los ráster globales de precipitación máxima de WorldClim.

Los periodos de retorno seleccionados son 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años, a partir de los periodos de retorno se calcula la variable reducida para los datos de precipitación de la estación aeropuerto, así también, para los datos globales de WorldClim, dando como resultado las tablas 5 y 6.

Tabla 5

Precipitaciones diarias máximas probables para diferentes frecuencias, estación aeropuerto

Periodo de Retorno	Variable Reducida	Precipitación	Probabilidad de ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT(mm)	F(xT)	XT(mm)
2	0.36651	288.23	0.500	325.70
5	1.49994	490.42	0.800	554.18
10	2.25037	624.30	0.900	705.45
25	3.19853	793.44	0.960	896.59
50	3.90194	918.92	0.980	1038.38
100	4.60015	1043.48	0.990	1179.13
500	6.21361	1331.31	0.998	1504.38

Nota: Elaboración propia a partir de datos del INETER.

Tabla 6

Precipitaciones diarias máximas probables para diferentes frecuencias, WorldClim

Periodo de Retorno	Variable Reducida	Precipitación	Probabilidad de ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT(mm)	F(xT)	XT(mm)
2	0.36651	350.10	0.500	395.62
5	1.49994	410.00	0.800	463.30
10	2.25037	449.66	0.900	508.11
25	3.19853	499.77	0.960	564.74
50	3.90194	536.94	0.980	606.74
100	4.60015	573.84	0.990	648.44
500	6.21361	659.11	0.998	744.79

Nota: Elaboración propia a partir de datos de WorldClim.

Columna 1: corresponde al periodo de retorno.

Columna 2: corresponde a la variable reducida a partir de la ecuación 17.

Columna 3: corresponde a la precipitación resultado de: $XT = \beta + \alpha * YT$

Columna 4: corresponde a la probabilidad de ocurrencia.

$$F(xT) = 1 - \frac{1}{Tr}$$

Columna 5: corresponde a la precipitación corregido

$$XT = 1.13 * col3$$

Se determinan los coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas, ver tabla 7.

Tabla 7

Coefficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas

Duración, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0.30	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.80	0.91	1.0

Nota: Datos obtenidos de D.F. Campos A. (1992).

Cálculo de máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias. Ver tablas 8 y 9.

Tabla 8

Máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias a partir de datos de estación aeropuerto

Tiempo de duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 h	X24=100%	325.70	554.18	705.45	896.59	1038.38	1179.13	1504.38
18 h	X18=91%	296.38	504.30	641.96	815.90	944.93	1073.01	1368.99
12 h	X12=80%	260.56	443.34	564.36	717.27	830.71	943.31	1203.50
8 h	X8=68%	221.47	376.84	479.71	609.68	706.10	801.81	1022.98
6 h	X6=61%	198.68	338.05	430.33	546.92	633.41	719.27	917.67
5 h	X5=57%	185.65	315.88	402.11	511.06	591.88	672.11	857.50
4 h	X4=52%	169.36	288.17	366.84	466.23	539.96	613.15	782.28
3 h	X3=46%	149.82	254.92	324.51	412.43	477.66	542.40	692.02
2 h	X2=39%	127.02	216.13	275.13	349.67	404.97	459.86	586.71
1 h	X1=30%	97.71	166.25	211.64	268.98	311.52	353.74	451.31

Nota: Matriz de elaboración propia (2023).

Tabla 9

Máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias a partir de datos globales de WorldClim

Tiempo de duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 h	X24=100%	395.62	463.30	508.11	564.74	606.74	648.44	744.79
18h	X18=91%	360.01	421.60	462.38	513.91	552.14	590.08	677.76
12 h	X12=80%	316.49	370.64	406.49	451.79	485.39	518.75	595.83
8 h	X8=68%	269.02	315.04	345.52	384.02	412.59	440.94	506.46
6 h	X6=61%	241.33	282.61	309.95	344.49	370.11	395.55	454.32
5h	X5=57%	225.50	264.08	289.63	321.90	345.84	369.61	424.53
4 h	X4=52%	205.72	240.92	264.22	293.66	315.51	337.19	387.29
3 h	X3=46%	181.98	213.12	233.73	259.78	279.10	298.28	342.60
2h	X2=39%	154.29	180.69	198.16	220.25	236.63	252.89	290.47
1 h	X1=30%	118.68	138.99	152.43	169.42	182.02	194.53	223.44

Nota: Matriz de elaboración propia (2023).

Para la intensidad de lluvia a partir de la precipitación máxima Pd, se utiliza la ecuación 1, según duración de precipitación y frecuencia de la misma se muestra en las tablas 10 y 11.

Tabla 10

Convertir la precipitación de la tabla 8 en intensidad para la estación aeropuerto

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia mm/h, según el Periodo de Retorno						
h	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24	1440	13.571	23.09	29.39	37.36	43.27	49.13	62.68
18	1080	16.466	28.02	35.66	45.33	52.50	59.61	76.05
12	720	21.713	36.95	47.03	59.77	69.23	78.61	100.29
8	480	27.684	47.11	59.96	76.21	88.26	100.23	127.87
6	360	33.113	56.34	71.72	91.15	105.57	119.88	152.95
5	300	37.130	63.18	80.42	102.21	118.38	134.42	171.50
4	240	42.341	72.04	91.71	116.56	134.99	153.29	195.57
3	180	49.940	84.97	108.17	137.48	159.22	180.80	230.67
2	120	63.511	108.06	137.56	174.83	202.48	229.93	293.35
1	60	97.709	166.25	211.64	268.98	311.52	353.74	451.31

Nota: Elaboración propia (2023).

Tabla 11.

Convertir la precipitación de la tabla 9 en intensidad para datos globales de WorldClim

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia mm/h, según el Periodo de Retorno						
h	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24	1440	16.484	19.30	21.17	23.53	25.28	27.02	31.03
18	1080	20.001	23.42	25.69	28.55	30.67	32.78	37.65
12	720	26.374	30.89	33.87	37.65	40.45	43.23	49.65
8	480	33.627	39.38	43.19	48.00	51.57	55.12	63.31
6	360	40.221	47.10	51.66	57.41	61.69	65.92	75.72
5	300	45.100	52.82	57.93	64.38	69.17	73.92	84.91
4	240	51.430	60.23	66.05	73.42	78.88	84.30	96.82
3	180	60.661	71.04	77.91	86.59	93.03	99.43	114.20
2	120	77.145	90.34	99.08	110.12	118.31	126.45	145.23
1	60	118.685	138.99	152.43	169.42	182.02	194.53	223.44

Nota: Elaboración propia (2023).

A partir de la regresión, aplicación de la ecuación 8 y 9, se determinan los parámetros d y $(-n)$, por cada periodo de retorno para los datos de la estación aeropuerto y, para los datos globales de WorldClim, ver tabla 12. Importante, este procedimiento se realiza para los periodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años. En la tabla 13, se visualiza el resumen de los parámetros para periodo de retorno 2 años, lo mismo se repite para los datos globales de WorldClim.

Tabla 12

Resultados para obtener los parámetros d y $(-n)$

Parámetros d y n para Periodo de Retorno 2 años						
ID	X	Y	LN(X)	LN(Y)	LN(X)*LN(Y)	(LN(X)) ²
1	1440	13.571	7.27	2.61	18.97	52.89
2	1080	16.466	6.98	2.80	19.57	48.79
3	720	21.713	6.58	3.08	20.25	43.29
4	480	27.684	6.17	3.32	20.50	38.12
5	360	33.113	5.89	3.50	20.60	34.65
6	300	37.130	5.70	3.61	20.62	32.53
7	240	42.341	5.48	3.75	20.53	30.04
8	180	49.940	5.19	3.91	20.31	26.97
9	120	63.511	4.79	4.15	19.87	22.92
10	60	97.709	4.09	4.58	18.76	16.76
10	4980.00	403.18	58.16	35.31	199.97	346.94
LN(d)=	4.93	a=d	7.12	138.70	b=-n	-0.616386

Nota: Esta tabla se repite para los periodos de retorno 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años, tanto para los datos de la estación aeropuerto como para los datos globales de WorldClim.

Tabla 13

Constante de regresiones para hacer cambio de variables

Resumen de aplicación de regresión potencial		
Periodo de Retorno (años)	Término constante de regresión (d)	Coefficiente de regresión (n)
2	138.70	-0.616386
5	200.49	-0.616386
10	236.99	-0.616386
25	279.84	-0.616386
50	309.82	-0.616386
100	338.36	-0.616386
500	400.59	-0.616386
Promedio	272.11	-0.616386

Nota: Valores de constante obtenidos a partir de tablas de parámetros de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años.

En función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión (d) para determinar valores de la ecuación 4. Ver tabla 14.

Tabla 14

Regresión de potencia con cambio de variable

Regresión Potencial						
ID	X (T)	Y (d)	LN X	LN Y	LN X*LN Y	(LN X) ²
1	2	138.70	0.693	4.932	3.419	0.480
2	5	200.49	1.609	5.301	8.531	2.590
3	10	236.99	2.303	5.468	12.591	5.302
4	25	279.84	3.219	5.634	18.136	10.361
5	50	309.82	3.912	5.736	22.439	15.304
6	100	338.36	4.605	5.824	26.821	21.208
7	500	400.59	6.215	5.993	37.244	38.621
7	692	1904.79	22.556	7.552	170.345	508.766
Ln(K)=	0.4974	K=	0.718	1.644	m=	0.3348

Nota: La regresión potencial se realiza tanto para los datos de la estación aeropuerto como para los datos globales de WorldClim.

De la ecuación 3 se homologan los términos a RPM, quedando de la siguiente manera:

Ecuación 18

$$M = \frac{K * P^m}{R_c^n}$$

A partir de la expresión 18 se calculan las Magnitudes en función de la Repetición y Persistencia que da origen a la tabla 15 y a la figura 1.

Tabla 15

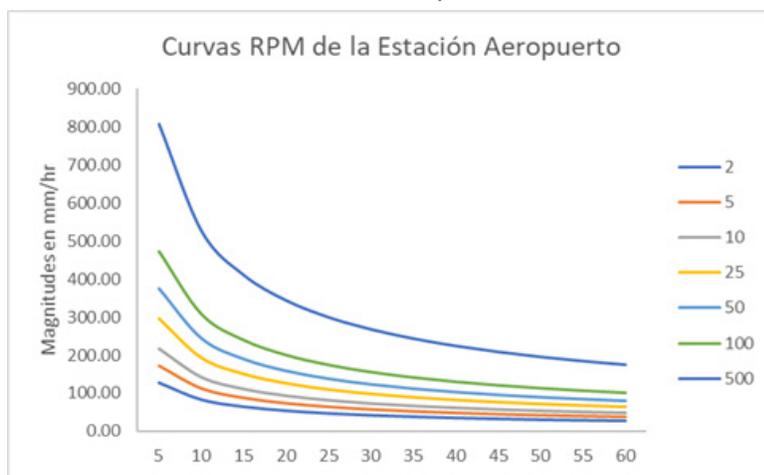
Datos obtenidos a partir de la expresión 18, con valores de K=d, m y (-n)

		Tabla de Magnitudes-Tiempo de duración											
		<i>Repetición en minutos</i>											
Persistencia en años		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	2	127.26	83.014	64.657	54.151	47.192	42.176	38.353	35.323	32.849	30.784	29.027	27.511
	5	172.96	112.821	87.872	73.594	64.137	57.319	52.124	48.005	44.644	41.837	39.450	37.390
	10	218.14	142.293	110.826	92.818	80.890	72.292	65.739	60.545	56.306	52.765	49.755	47.156
	25	296.46	193.384	150.619	126.145	109.935	98.249	89.344	82.285	76.522	71.711	67.619	64.088
	50	373.90	243.899	189.964	159.096	138.652	123.914	112.682	103.779	96.512	90.443	85.283	80.829
	100	471.58	307.610	239.586	200.655	174.870	156.282	142.117	130.888	121.722	114.069	107.560	101.944
	500	808.31	527.266	410.667	343.937	299.740	267.879	243.598	224.351	208.640	195.521	184.366	174.738

Nota: Magnitudes para graficar las curvas RPM de la estación aeropuerto.

Figura 1.

Curvas RPM de la Estación Aeropuerto

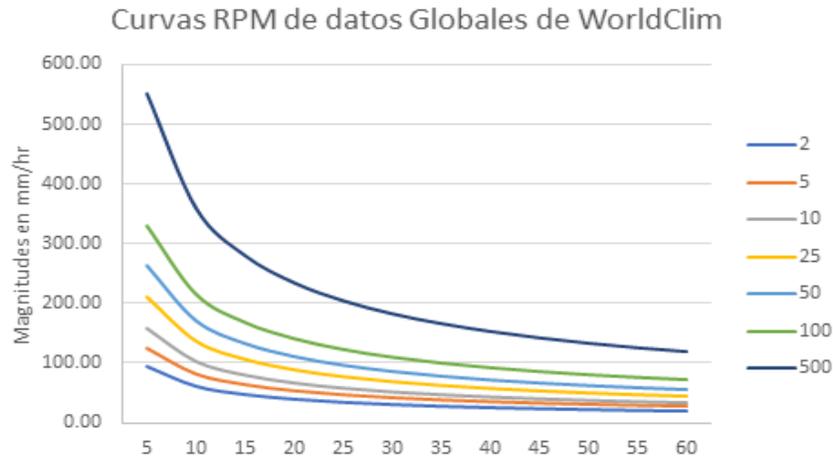


Nota: La persistencia con la que se trabajó fue de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años, con repetición de 5 a 60 minutos. Elaboración propia.

El mismo procedimiento se realiza para los datos globales de WorldClim, dando como resultado la siguiente figura 2.

Figura 2.

Curvas RPM con datos globales de WorldClim



Nota: La persistencia con la que se trabajó fue de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años, con repetición de 5 a 60 minutos. Elaboración propia.

5. Conclusión

La metodología desarrollada está definida a partir de la regresión potencial, generando las curvas Repetición, Magnitud y Persistencia (RPM), mismas que se logran obtener a partir de la base de datos de la estación aeropuerto de Managua, Nicaragua y de los datos globales de WorldClim.

Al comparar ambos resultados, se manifiesta una similitud definida a partir de la variable persistencia de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años, con una repetición de 5 a 60 minutos y con un intervalo de 5 minutos, formando una parábola de regresión potencial. Esto indica que la base de datos generada a partir de los datos globales de WorldClim se pueden utilizar en un estudio hidráulico cuando se carezca de datos de precipitación.

Asimismo, la importancia de generar las curvas de Repetición, Magnitud y Persistencia (RPM), es que se pueden utilizar en hidrología para caracterizar la Magnitud de la lluvia en función de la Repetición y Persistencia.

Lo que señala que estas curvas son muy sustanciales en la planeación de los recursos hídricos, así como para la aplicación de la hidrotecnia vial.

6. Agradecimientos

En primer lugar, a Dios, nuestro padre, que me ha dado una mano para seguir por el buen camino y alcanzar mis metas. A mi madre, Beatriz Picado, por enseñarme el camino al éxito.

A mis hijos, Dafned Itziar Tirado Flores y Víctor Manuel Tirado siempre seré su guía, a mi nieto Ezio, bienvenido.

A mi esposa, Lisseth Carolina Blandón Chavarría, quien confía en mis éxitos, gracias por estar a mi lado.

A la Universidad Americana (UAM) y a la Dirección de Investigación y Extensión Universitaria (DIEX), por abrirme las puertas del conocimiento en esta nueva etapa de mi vida.

WordClim (2023) Historical climate data. Historical monthly weather data. [online] worldclim.org <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>

7. Referencias bibliográficas

Acosta Castellanos, P., & Sierra Aponte, L. (2013). Evaluación de métodos de construcción de curvas IDF a partir de distribuciones de probabilidades y parametros de ajuste. Revista Facultad de Ingeniería, 25-33.

Campos Aranda, D. F. (1992) Precipitación en Procesos del Ciclo Hidrológico. 1a ed, San Luis Potosi., Universidad Autónoma de San Luis Potosi, cap.4. pp. 4-1 – 4-99.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la Investigación. México D.F. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.

Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales INETER. (2023) Dirección General de Meteorología. <https://www.ineter.gob.ni/met.html>

Picado, V. (2020). Methodology for the calculation of RMP Curves (Repetition, Magnitude, Persistence). International Journal of Engineering Science (IJES), 20-24.

Pulgarín, E., Poveda, G., & de Ingenieros, S. (2008). Estimación de curvas IDF basadas en las propiedades de escala de la lluvia. Proceeding of the XVIII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología. Bogotá, Colombia.