

Estimación de mapas Intensidad-Duración-Frecuencia para el estado de Veracruz, México

Claudio Hoyos Reyes¹, Manuel Jácome Gutiérrez^{1,2} y Uriel Antonio Filobello Niño¹

Facultad de Instrumentación Electrónica¹, Facultad de Ciencias Químicas²

Universidad Veracruzana

Xalapa, Ver.; México

[choyos, ufilobello, manjacome] @uv.mx

Abstract— The main purpose of the current study was to apply two nonlinear mathematical models for estimate rainfall intensity-duration-frequency curves. With a probability function, they were adjusted with return periods of 10, 50 and 100 years and maximum rainfall data with a duration of five days. The database was taken from climatological stations of the National Meteorological Service. Rainfall intensity, duration and return period were obtained in a traditional way, however, nonlinear mathematical models were adjusted and plotted on maps in the form of isolines. As a result, the adjustment of the models showed an average determination coefficient of 89.77%. There were no significant differences in the adjustment of the models.

Keyword— *Precipitation, Return period, IDF, rainfall intensity, model nonlinear.*

Resumen—El objetivo de este trabajo fue aplicar dos modelos matemáticos no lineales para la estimación de curvas intensidad-duración-frecuencia de la lluvia. Probabilísticamente se ajustaron con períodos de retorno de 10, 50 y 100 años y datos de precipitación máxima con duración de cinco días. La base de datos fue tomada de estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional. Se obtuvo la intensidad de la lluvia, la duración y el período de retorno de manera tradicional, sin embargo, se procedió a ajustar los modelos matemáticos no lineales y se graficaron en mapas en forma de isolíneas. Como resultados, el ajuste de los modelos, presentaron un coeficiente de determinación promedio de 89.77%. No se presentaron diferencias significativas en el ajuste de los modelos.

Palabras claves— *Precipitación, Periodo de retorno, IDF, Intensidad de lluvia, modelos no-lineales.*

I. INTRODUCCIÓN

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia de lluvia (IDF) son representaciones gráficas, de la cantidad de agua de lluvia en un periodo de tiempo determinado, llamado periodo de retorno o frecuencia anual de excedencia. Las IDF interpretan, principalmente, la presencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos como las lluvias torrenciales e inundaciones dentro de un área determinada. Por lo que hace necesario estimar las IDF como herramientas que nos ayuden a mitigar los efectos, de cierta manera conocer, interpretar y hasta monitorear zonas en las que tengan efectos negativos en el temporal de lluvias.

Uno de los métodos y/o técnicas para comprender los eventos intensos de las precipitaciones, son la de evaluar la probabilidad de eventos de lluvias extremas en diferentes escalas de tiempo y para varios períodos de retorno. La relación probabilística entre la intensidad de la lluvia, su duración y el periodo de retorno, es usualmente presentada en forma de gráficas x, y (Pereyra *et al.*, 2004; Ybañez, 2013; Ramírez *et al.*, 2015; Diwakar, 2017; Alam, 2018). Una forma clásica de sintetizar los resultados de la relación probabilística es la producción de las llamadas curvas de intensidad-duración-frecuencia de lluvia (IDF), que proporcionan estimaciones de los niveles de retorno de lluvia en un rango de duraciones (Chow *et al.*, 1994). Diversos estudios han hecho uso de la generación, aplicación y análisis de los eventos de precipitación como herramientas de las curvas IDF (Salazar *et al.*, 2008; Bara *et al.*, 2009; Sun *et al.*, 2010; El-Sayed, 2011; De Paola, *et al.*, 2014; Fadhel *et al.*, 2017; Sane *et al.*, 2018).

Para la construcción de las curvas IDF, se han utilizado expresiones matemáticas ya establecidas y, en algunas ocasiones desarrollan sus propias expresiones matemáticas y presentadas en el formato de gráfica x , y (Sun *et al.*, 2010; AghaKouchak *et al.*, 2018; Wilby *et al.*, 2022;).

En un estudio reciente y a manera de ejemplo genérico de la representación gráfica de las curvas IDF, Mahmoud *et al.*, (2022) realizaron un caso de estudio de las IDF en la región de Wadi El Dom-El Ain El Sokhna, Egipto. Ellos utilizaron los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. En la figura 1, se ilustran las curvas IDF con intensidades de precipitación que van de los 5 a los 50 mm/h y con una duración de hasta los 1400 minutos.

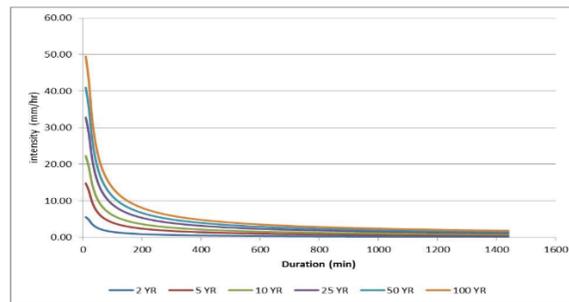


Figura 1. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia de precipitación para la estación Suez (Wadi El Dom; fuente: Mahmoud *et al.*, (2022))

Sin embargo, la propuesta en este trabajo es que los datos de las curvas IDF se pueden graficar a manera de isolínea de tal forma que describan la intersección de una superficie con uno un plano horizontal, con fines de conocer la probabilidad de que un evento de lluvia intensa exceda la magnitud de un determinado periodo de retorno (Campos-Aranda, 2010), así como también realizar las IDF con datos de lluvia diaria. Por lo anterior, el objetivo fue estimar mapas de isolíneas IDF para el estado de Veracruz, México, con precipitaciones de duraciones de 5 días y períodos de retorno de 10, 50 y 100 años, se trabajó con un periodo de 1980 a 2018. Permitiendo, entre muchos usos, mejorar el cálculo de las dimensiones en el diseño y planificación de diversos proyectos de recursos hídricos (El-Sayed, 2011), tales como: canales, alcantarillado, sistemas de riego, drenaje, pequeños embalses, entre otros, así como también para la gestión del agua, en función de sus usos: agrícola, forestal, energético, doméstico, entre otros.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Área de estudio

El estado de Veracruz (Figura 2) se localiza en la costa del Atlántico, en el Golfo de México, colinda al norte con los estados de Tamaulipas, al este con el Golfo de México y Tabasco, al sur con Oaxaca y Chiapas, al oeste con Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí.

Para el ajuste estadístico de los modelos no lineales presentados por Pereyra, (2012) se siguieron los siguientes pasos: se procedió a excluir las estaciones que no contaran con la información completas requeridas (del periodo 1980 a 2018). Se obtuvieron las precipitaciones acumuladas, es decir el primero valor quedó igual, el segundo se obtiene sumando el primero más el segundo valor, el tercero valor es la suma del primero más el segundo más el tercero, sucesivamente. Posteriormente las precipitaciones máximas se transformaron para duraciones de 1, 2, 3, 4 y 5 días en intensidades (mm/día), con cada una de las estaciones; este procedimiento consistió en dividir los datos de precipitación acumulada, respecto a cada uno de los cinco días. Se les asigno el periodo de retorno correspondiente utilizando la siguiente ecuación

$$T = \frac{n+1}{m} \quad (3)$$

donde T es el periodo de retorno, n número total de eventos en la serie anual, igual al número de años de registro y m número de orden del evento, arreglos en forma decreciente, es decir, uno para el mayor y n para el menor.

De los modelos I y II, se realizó el ajuste cada uno de los modelos no lineales, con los métodos de Quasi-Newton, Simplex, Simplex and Quasi-Newton y Levenberg Marquardt; a través del método de aproximaciones sucesivas donde se generan funciones convergentes bajo un esquema iterativo partiendo de la función original. En este caso se utilizó como variable dependiente la intensidad (i) y como variables independientes la duración en horas (d) y el período de retorno (T) en años. También se calculó el coeficiente de determinación, el cual permite conocer qué tan se acerca a uno, existe una mayor dependencia funcional. Finalmente, y con ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG) se graficaron las IDF de precipitación en el espacio y tiempo, es decir, se realizaron en curvas de isoyetas para el estado de Veracruz, con sus respectivos periodos de retornos.

III. RESULTADOS

De los datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional, se determinó que 67 estaciones climatológicas del estado de Veracruz cumplían con la condición de tener al menos 30 años de datos de precipitación, esta primera depuración permitió reducir de manera significativa la base de datos, así como aumentar el asertividad de estos.

Los datos obtenidos del coeficiente de determinación (R^2) nos permiten entender que tanto explica el modelo no-lineal I o II con los datos observados. Para el modelo I, el R^2 osciló entre el 76.20% a 98.61% de fiabilidad del modelo estimado a los datos, mientras que, para el modelo II, el R^2 se encontraron valores entre los 76.67% a 98.61% de fiabilidad.

De los datos que resultaron de los modelos I y II se representaron en mapas con periodos de retornos de 10, 50, 100 años y de un día de precipitación, aunque se trabajó para precipitaciones de 5 días, sólo se mostraran la del día uno. En la figura 3, resuelta para el modelo I, se muestran las curvas de isoyetas. Las isolíneas nos indican los valores de intensidad de la precipitación, en él podemos apreciar que varían en el rango de 150 mm/día a 225 mm/día, se aprecia que las precipitaciones que alcanzaron los valores más altos están en la zona montañosa y las menores en el norte de Veracruz, sin embargo, en la zona del sur disminuyen. Veracruz tiene una intensidad de precipitación máxima de 270 mm/día (figura 3), por lo que se puede estimar que en los próximos 10 años se presentará una disminución en la intensidad de la lluvia. En la zona norte del estado la precipitación, en donde la intensidad de la precipitación es aún menor, representará un grave problema en el abastecimiento de agua.

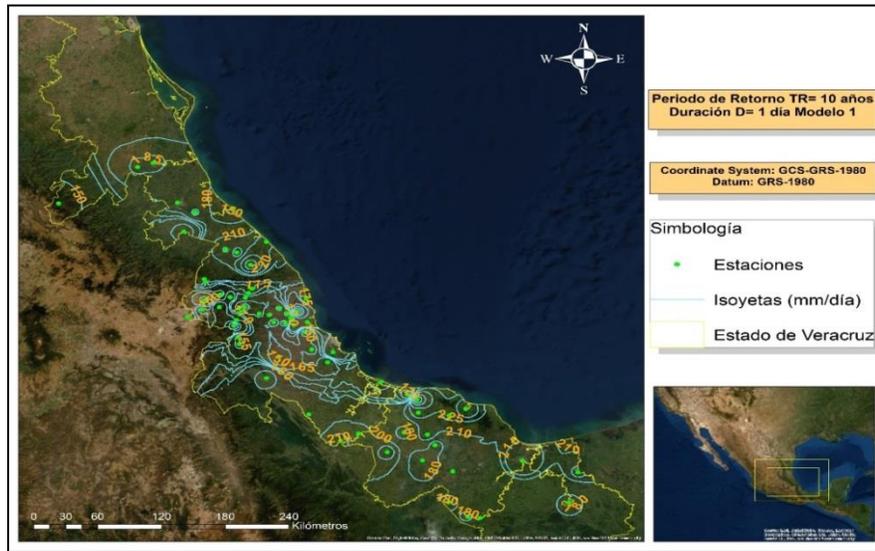


Figura 3. Periodo de retorno de 10 años, día 1. Modelo I.

En figura 4 se ilustra la intensidad de la lluvia para un periodo de retorno de 50 años, se observar un incremento en la cantidad de las intensidades de precipitaciones, esto se debe a que se presentaran eventos más extremos, es decir indica que es probable que eventos atmosféricos se presenten iguales o excedan el valor registrado de la intensidad de la lluvia, tales como ciclones tropicales que incrementaran de forma significativa la cantidad de intensidad de la lluvia.

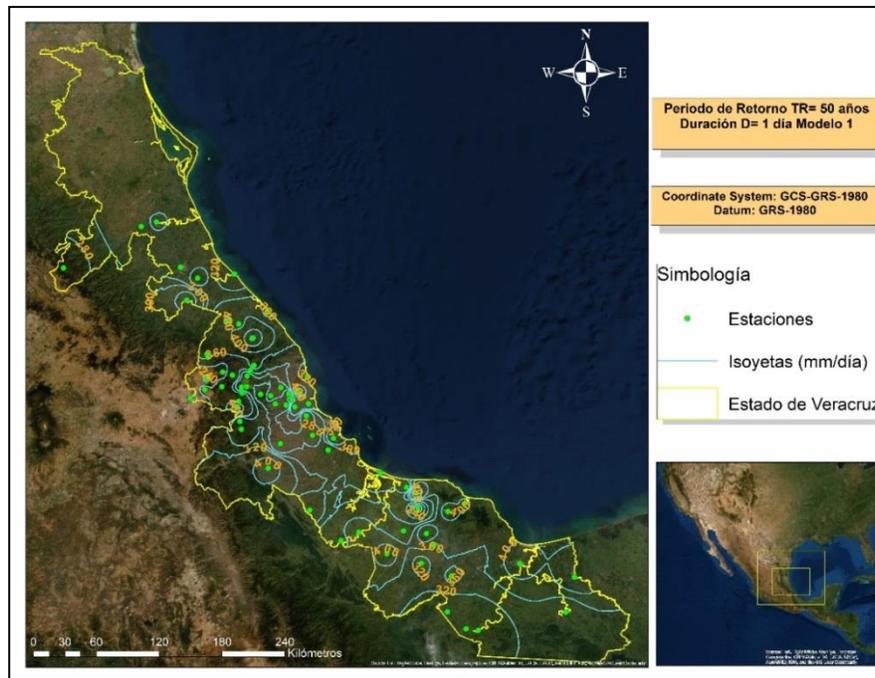


Figura 4. Periodo de retorno 50 años, día 1. Modelo I.

En la figura 5 presentan las isólineas para un periodo de retorno de 100 años, aplicando el Modelo I. en esta figura se aprecia que se pueden registrar valores de intensidad de precipitación máximos de hasta 600 mm/día, en un periodo de retorno de 100 años.

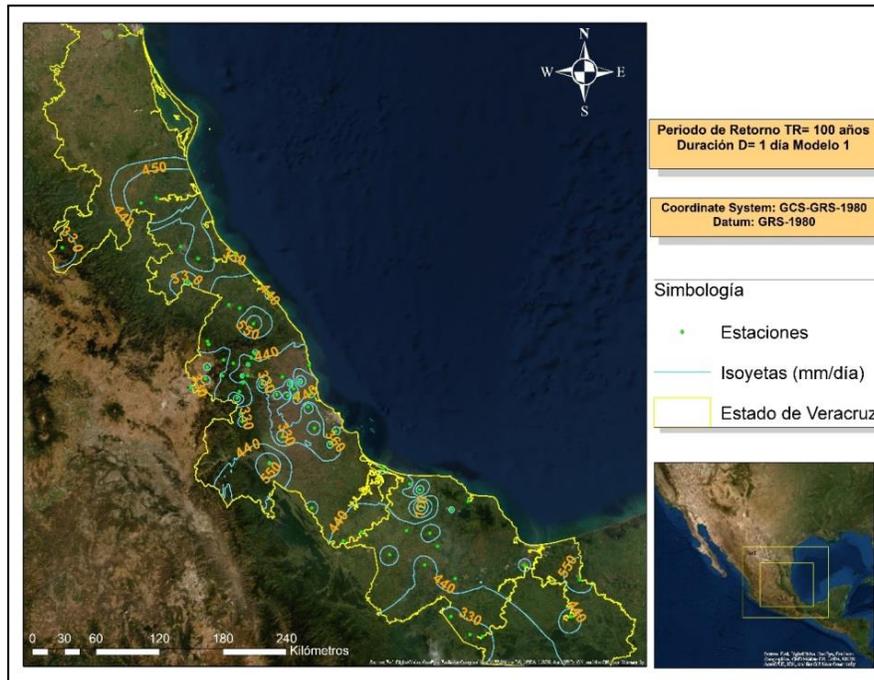


Figura 5. Periodo de retorno 100 años, día 1. Modelo I.

De las figuras 6 a la 8 son de aplicación del modelo II. La figura 6 representa las isólineas de un periodo de retorno de 10 años.

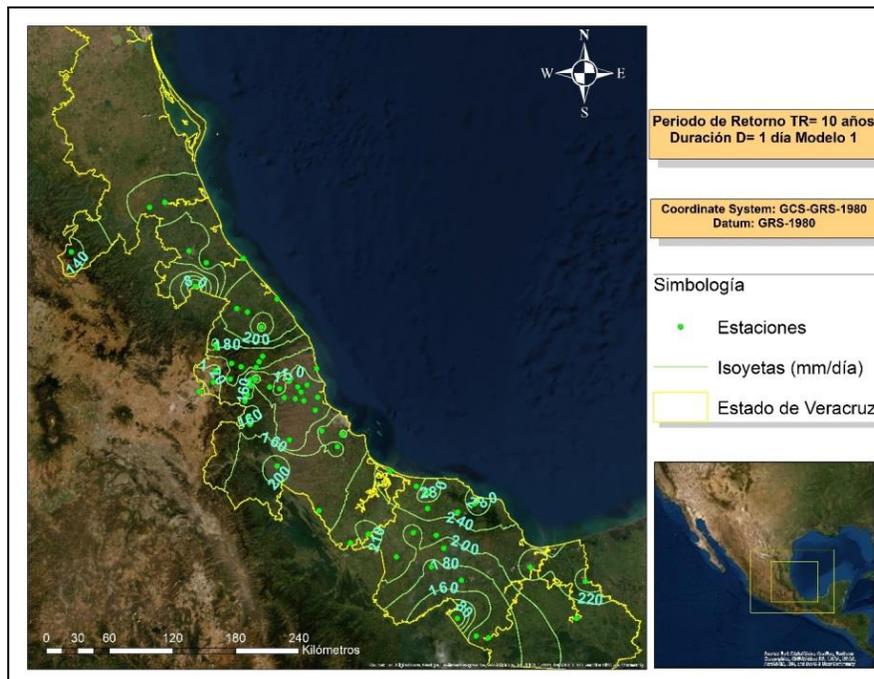


Figura 6. Periodo de retorno 10 años, día 1. Modelo II.

Para el periodo de 50 años con el Modelo II, quedó representada en la figura 7.

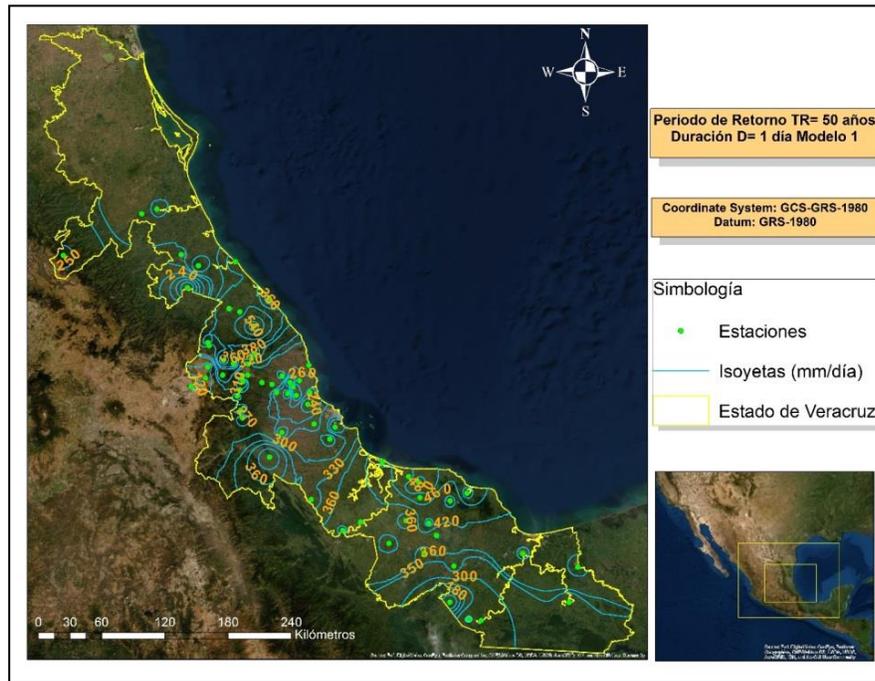


Figura 7. Periodo de retorno 50 años, día 1. Modelo II.

Finalmente, el mapa del Modelo II para el periodo de 100 años (Figura 8).

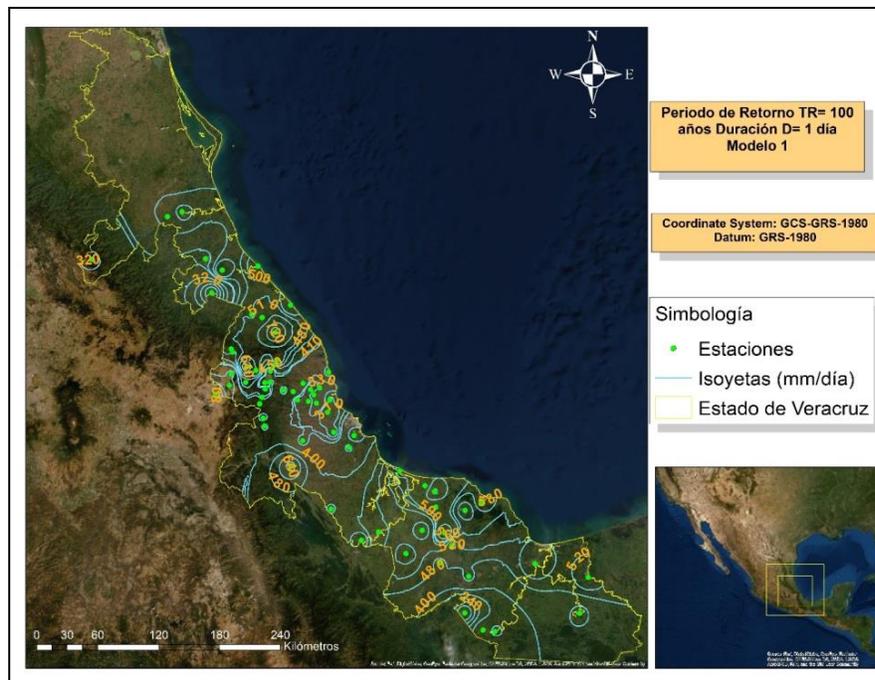


Figura 8. Periodo de retorno 100 años, día 1. Modelo II.

IV. DISCUSIÓN

Los modelos I y II de las ecuaciones no lineales de Pereyra, (2012) donde se relacionan la duración y el período de retorno de la lluvia en una familia de curvas IDF para el estado de Veracruz, fueron utilizados en precipitaciones máximas con mediciones cada 10 minutos ocasionadas por las mayores tormentas del periodo 1927-2002, en este trabajo se manejaron precipitaciones máximas para un día y un periodo de 1980 a 2018 lo que nos proporciona datos más actualizados. A pesar de estas diferencias se muestra la utilidad de estas ecuaciones no lineales al obtenerse un coeficiente de determinación promedio R^2 de 90%, considerando 67 estaciones climatológicas, mientras que Pereyra, (2012) en su análisis de la precipitación máxima tomando como base la información de la estación meteorológica de Xalapa, Veracruz y obtuvo un R^2 de 92%. El Modelo II también muestra ser fiable al obtenerse valores de R^2 de 90% que en el modelo I. Por otro lado, no se tiene la consistencia al 100% en los datos climatológicos, ya que hay faltantes de días o en algunos casos de meses en la base de información con que se trabajó. Finalmente debemos considerar que Pereyra, (2012) reporta sus resultados con graficas llamadas curvas IDT, sin embargo, este trabajo se presenta con mapas de isolíneas para los periodos de retorno de 10, 50 y 100 años lo cual nos proporciona una información espacio-temporal de las precipitaciones por cada zona a un nivel entidad federativa.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En cuando a la precipitación se concluye que, fenómenos atmosféricos son cada vez más recurrente, con cantidades de hasta 600 mm/día en ciertas regiones del estado de Veracruz.

A partir de los mapas de isolíneas con datos de IDF concluye lo siguiente:

La base de datos que se trabajó presenta muchas deficiencias en el sentido de falta de datos, inconsistencia de valores y las estaciones climatológicas son pocas y en algunos casos están muy separadas una de la otra.

El ajuste de los datos observados en sitio, el coeficiente de determinación fue de $R^2 = 90\%$ con más del 60% de las estaciones climatológicas.

Este trabajo servirá de antecedente en futuros estudios realizados al estado de Veracruz, para la planeación principalmente de obras hidráulicas y/o la administración del recurso hídrico. Así como referencia para el estudio de ecuaciones no lineales que toman datos de precipitación para su análisis. Por lo anterior se recomienda actualizar con el paso de los años la información para tomar en cuenta los fenómenos atmosféricos que dejan a su paso grandes cantidades de precipitación, así como también hacer frente al cambio climático.

REFERENCIAS

AghaKouchak A., Ragno E., Love C., and H. Moftakhari. (2018). Projected changes in California's precipitation intensity-duration-frequency curves. California's Fourth Climate Change Assessment, California Energy Commission, Publication Number: CCCA4-CEC-2018-005.

Alam Md.A., Emura K., Farnham C. & J. Yuan. (2018). Best-Fit Probability Distributions and Return Periods for Maximum Monthly Rainfall in Bangladesh. *Climate* 6(1):1-9.

Bara M., Kohnová S., Gaál L., Szolgay J. and K. Hlavcova. (2009). Estimation of IDF curves of extreme rainfall by simple scaling in Slovakia. *Contributions to Geophysics and Geodesy* 39(3): 187-206.

Campos-Aranda D. F. (2010). Intensidades máximas de lluvia para diseño hidrológico urbano en la República Mexicana. *Ingeniería Investigación y Tecnología* 11(2): 179-188.

Chow V., Maidment D., and L. Mays. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill p. 454.

- De Paola F., Giugni M., Topa M. E., E. Bucchignani. (2014). Intensity-Duration-Frequency (IDF) rainfall curves, for data series and climate projection in African cities. SpringerPlus 3. No.133.
- Diwakar S., Kaur S. & D.A. Kumar. (2017). Long Term Rainfall Trend over Meteorological Sub Divisions and Districts of India” MAUSAM, 2017. 68(3): 439–450.
- El-Sayed E. A. H. (2011). Generation of rainfall intensity duration frequency curves for ungauged sites. Nile Basin Water Sci Eng J 4(1): 112–124.
- Fadhel S., Rico-Ramirez M. A., Han D. (2017). Uncertainty of Intensity–Duration–Frequency (IDF) curves due to varied climate baseline periods. Journal of Hydrology 547(1): 600-612.
- Mahmoud A. R., Ibrahim A.H. and E.F. Mohamad. (2022). Intensity-Duration-Frequency Relationship in an Arid and a Semi-Arid Case Study Wadi El Dom-El Ain El Sokhna, Egypt, International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), 13(5): 1-11. <https://iaeme.com/Home/issue/IJCIET?Volume=13&Issue=5>.
- Pereyra D. (2012). Two nonlinear mathematical models to estimate the intensity-duration-return period of rainfall events. Universidad y Ciencia UJAT 28(3): 271-277.
- Pereyra D., Pérez S. y L. Gómez. (2004). Ecuaciones que estiman las curvas intensidad duración-período de retorno de la lluvia. Revista GEOS 24(1): 46-56.
- Ramírez C.H., López V.O. y C.L.A. Ibañez. (2015). Estimación mensual de intensidad de la lluvia en 30 minutos a partir de datos pluviométricos. Terra Latinoam [online] 33(2):151-159.
- Salazar G., Juárez A., y R. Loza R. (2008). Curvas de intensidad, duración y periodo de retorno como herramienta de análisis en la prevención de riesgos por precipitaciones intensas en la zona metropolitana de Guadalajara. A Journal for the Humanities and Social Sciences Department of Literature and Department of Philosophy 13(47): 1-9.
- Sane Y., Panthou G., Bodian A., Vischel T., Lebel T., Dacosta H., Quantin G., Wilcox C., Ndiaye O., Diongue-Niang A. and MK Diop. (2018). Intensity–duration–frequency (IDF) rainfall curves in Senegal. Natural Hazards and Earth Syst. Sci. 18(7): 1849–1866.
- Sun Y., Wendi D., Kim D. E., S. Y. Liang. (2019). Deriving intensity–duration–frequency (IDF) curves using downscaled in situ rainfall assimilated with remote sensing data. Geosci, Lett. 6(17): 1-12.
- Wilby R. L., Dawson C. W., Yu D., Herring Z., Baruch A., Ascott M. J., Finney D. L., Macdonald D. M. J., Marsham J. H., Matthews T. and C. Murphy (2022). Spatial and temporal scaling of sub-daily extreme rainfall for data sparse places. Clim Dyn. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06528-2>.
- Ybañez R. (2013). Understanding Rainfall Return Periods. Project NOAA Open-File Reports 1(2): pp. 3-4.