

ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DIARIA MÁXIMA PROBABLE EN ARGENTINA

Flavia Bazzano¹, Carlos M. García², Nicolás F. Guillén³, Gabriel Eduardo Caamaño Nelli⁴,
Magdalena Baraquet⁵ y Carlos G. Catalini⁶

¹Laboratorio de Construcciones Hidráulicas. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas, Argentina.

^{2,3,5} Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC) y CETA – FCEfNyN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Córdoba, Argentina y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET.

⁴ Ex Consejo Nacional de Investigaciones Científicas, Argentina.

⁶Instituto Nacional del Agua – Centro de la Región Semiárida y Universidad Católica de Córdoba – Facultad de Ingeniería Grupo de Estudios Hidrológicos en Cuencas Pobrementamente Aforadas. Av. Armada Argentina 3555, Córdoba, Argentina.

E-mail: fbazzano@herrera.unt.edu.ar, cgarcia2mjc@gmail.com, nfguillen@hotmail.com, cgcatalini@hotmail.com

Introducción

La Organización Meteorológica Mundial (WMO) define a la Precipitación Máxima Probable (PMP) como la máxima lluvia esperable, para una determinada duración, según las condiciones meteorológicas actuales (WMO, 2009). La PMP, junto con otros valores como la Creciente Máxima Probable (CMP), constituyen Valores Límites Estimados (VLE), usualmente utilizados en el diseño de estructuras para el control de excedentes que por su vulnerabilidad o implicancia demandan una seguridad mayor.

Aunque existen múltiples metodologías para la estimación de la PMP, se distinguen dos escuelas. Por un lado, la meteorológica considera al ciclo hidrológico como un sistema cerrado siendo la PMP el valor tope en una ubicación dada. Por otro, el enfoque estadístico asume a la PMP, como un evento de probabilidad finita, aunque sumamente baja, de ser excedida.

Siguiendo este último, el método desarrollado por Hershfield (1961) es el más aceptado. El procedimiento consiste en minimizar la probabilidad de ocurrencia de la lluvia estimada, maximizando el factor de frecuencia Φ_y , en la ecuación general de frecuencia Chow (1951):

$$y = \mu_y + \Phi_y \times \sigma_y \quad (1)$$

donde y representa la lámina máxima anual de lluvia diaria, μ_y es su media y σ_y su desvío estándar. Φ_y es el factor de frecuencia que representa el número de desvíos estándar en que se aleja un valor de la muestra de la media de la serie. La PMP se determina, entonces, minimizando la probabilidad de ocurrencia, mediante la siguiente expresión,

$$PMP = \mu_y + \Phi_{PMP} * \sigma_y \quad (2)$$

donde Φ_{PMP} representa el máximo factor de frecuencia. Para estimarlo se simula la variación de Φ_y al caer una lluvia mayor que las de la serie medida. A -tal fin, el factor de frecuencia se saca para una serie trunca ($n-1$), sin el mayor valor y_m :

$$\Phi_{n-1} = \frac{y_m - \mu_{n-1}}{\sigma_{n-1}} \quad (3)$$

A partir del gráfico de los pares Φ_{n-1} versus μ_n (serie completa) de todas las estaciones pluviométricas, Hershfield (1961) propone trazar una envolvente definida por dos puntos donde se asume que la PMP ha sido observada. Esta simple metodología posee gran aceptación por ser aplicable siempre que exista una gran cantidad de puntos de medición. Hershfield (1961) plantea la dependencia de Φ_{PMP} con respecto a μ_n , incorporando así las condiciones locales en la determinación de la PMP. Caamaño Nelli y García (1998) proponen a partir de su experiencia realizada en la región central argentina, una función exponencial negativa para definir la envolvente:

$$\Phi_{PMP} = \Phi_0 e^{-k\mu} \quad (4)$$

Donde los parámetros, Φ_0 y k , representan la intersección con el eje de ordenadas y la tasa de decaimiento, respectivamente, y se deducen aplicando la ecuación (4); **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** a los dos puntos que definen la envolvente siendo subjetivo la selección de estos puntos.

Metodología sintética para estimar Φ_{PMP}

En este trabajo se propone una nueva alternativa para estimar Φ_{PMP} de forma objetiva, para tal fin se utilizan series sintéticas de extensa longitud, independizando el resultado de los registros locales disponibles. Las series generadas presentan distribución Lognormal, la cual fue escogida por su probada representatividad en la pluviometría de la región (Guillén *et al.*, 2016). Se proponen 41 conjuntos de 1000 series de 10 mil años de longitud cada uno condicionando los valores de μ y σ . Para cada conjunto de datos se toman distintos valores de μ y de σ considerando combinaciones que generan valores de coeficientes de variación ($C_v = \sigma_n/\mu_n$) entre 0 y 1. Para cada serie se calcula el valor de Φ_{n-1} asumido igual al Φ_{PMP} en una serie de 10000 valores. Luego, para cada conjunto de 1000 series (con los mismos parámetros estadísticos) se determina el valor máximo, medio y los percentiles 95 y 99 de la estimación de Φ_{PMP} . Se analiza la variación de estos valores de Φ_{PMP} con la media de máximos anuales y la influencia del desvío estándar y se propone un modelo en función del coeficiente de variación. Finalmente, se evalúa la sensibilidad de los resultados alcanzados a la función de distribución de probabilidad propuesta y se repite el procedimiento utilizando las funciones Gamma y Gumbel.

Sistema de estudio

El sistema experimental abarca aproximadamente una superficie 1 millón de km^2 , con altitudes que oscilan entre 3 m snm a 6500 m snm, siendo el 30% de la superficie de la porción continental de Argentina, donde conviven varios regímenes pluviales. Se analizan registros de 1017 pluviómetros, distribuidos irregularmente en la región centro y norte del territorio argentino, que superaron con éxito las diferentes pruebas y criterios estadísticos de acuerdo a lo propuesto por Watt, 1989 (aleatoriedad, independencia, homogeneidad, estacionalidad y datos atípicos). Las series presentan una longitud entre 10 y 79 años. Para incorporar los registros más cortos se corrigieron los parámetros estadísticos, los cuales también se rectificaron por la posible presencia de valores atípicos en las muestras (Hershfield, 1965).

Resultados y discusión

En primer lugar se aplica el método de Hershfield en su forma tradicional a partir de los 1017 pares de valores Φ_{n-1} versus μ_n correspondientes a los registros disponibles. Se define una envolvente regional, seleccionada entre cuatro alternativas, según una función exponencial negativa. La elección se basa en la comparación con resultados antecedentes y un mejor ajuste visual al conjunto. Para salvar la subjetividad de la decisión anterior, se aplica la metodología sintética propuesta para estimar Φ_{PMP} . El análisis evidencia un decaimiento en los valores de Φ_{PMP} con μ_n , aunque para un valor dado de la variable el factor crece al aumentar el σ . Ante este resultado, se

decide incorporar el σ en el análisis a través del coeficiente de variación C_v y se obtiene una expresión que representa la variación de Φ_{PMP} en forma exponencial (Figura 1). Es notable que el C_v representa una variable mucho más robusta que μ_n , que se presenta en forma más uniforme en el territorio, en un rango de valores comprendido entre 0,2 y 0,6. En la Figura 1 se representan los valores medios observados de Φ_{PMP} en cada conjunto de series los valores máximos y los valores de percentil 95% y 99%.

Se observa que tanto el valor medio como los percentil 95 y 99 presentan una variación suave con el C_v con una alta correlación entre ambas variables. La ecuación de ajuste entre Φ_{PMP} y C_v , para percentil 99 (R^2 mayor a 0,99) se encuentra en la Figura 1.

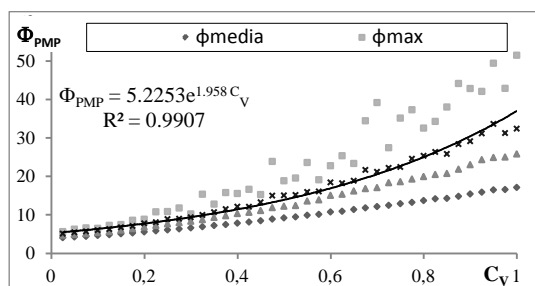


Figura 1.- Φ_{PMP} máximo, medio, percentil 95 y 99 en función del C_v .

La curva ajustada mediante los percentiles 99 de los factores de frecuencia obtenidos según las series Lognormales, se contrasta en la Figura 2, con los puntos registrados. La gráfica supera todos los pares de valores Φ_{n-1} vs C_v observados cumpliendo de esta forma con una característica de envolvente. Además, se incluyen los resultados análogos de utilizar las funciones de distribución de probabilidad Gamma y Gumbel. En cuanto a la función Gamma, aunque se evidencia cierta tendencia exponencial, varios de los puntos observados se ubican por encima del modelo. De igual forma, se observa que unos pocos valores observados se ubican por encima del modelo obtenido con la función Gumbel, que no presenta variación con el C_v .

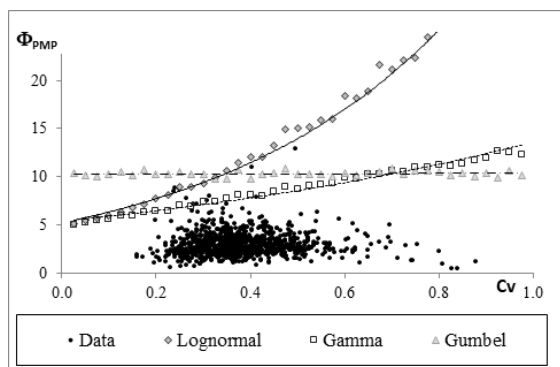


Figura 2.- Contraste de los puntos observados con el modelo exponencial obtenido con las funciones Lognormal, Gamma y Gumbel.

Según el resultado obtenido, el modelo de Φ_{PMP} estimado con la función lognormal muestra un comportamiento adecuado para estimar la PMP en regiones donde su representatividad en pluviometría máxima anual sea verificada, hecho que había sido probado anteriormente en la región para predecir máximos de recurrencia acotada (Guillén *et al.*, 2016).

La Figura 3 muestra los valores de PMP diaria estimados con el método de Hershfield sintético. El rango de valores evidencia su gran variabilidad en el territorio analizado, caracterizado por la presencia de varios regímenes de precipitación. En promedio, la relación entre los valores de PMP diaria estimados con el método convencional y con el método modificado es 1,3.

Una forma de evaluar la mejor opción es contrastarlas con la lámina de lluvia máxima diaria anual con periodo de retorno

100 años (PMDA 100). La PMP estimada con el método de Hershfield convencional es en promedio 3,5 veces el valor de PMD T=100 años. Por otra parte, la estimación con el método de Hershfield modificado es 2,6 veces la PMD T=100 años. La relación derivada de las series sintéticas entre PMP y PMD T=100 años es de 2,3 lo que muestra que el valor obtenido con la metodología objetiva es el que tiene un mejor contraste.

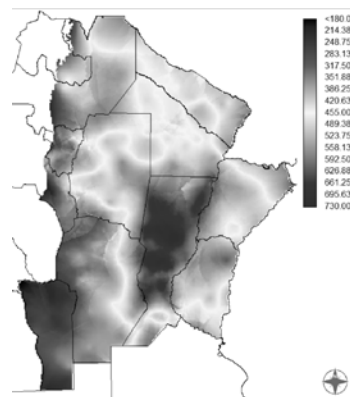


Figura 3.-PMP diaria en Argentina estimada con el método de Hershfield sintética.

Conclusiones

Con la información disponible fue posible la determinación de la PMP en una amplia región de Argentina. El método propuesto originalmente por Hershfield genera en el sistema de estudio cuatro posibles envolventes entre las que se elige una de ellas, teniendo en cuenta su ajuste visual al conjunto de los puntos medidos y los resultados publicados en otras regiones. Esto denota cierta subjetividad y, además, se asume que la PMP ha sido registrada en los puntos que definen la curva.

Mediante la generación de series aleatorias sintéticas a partir de una función de distribución de probabilidad propia de valores extremos fue posible definir en forma objetiva el factor de frecuencia máximo. Esta propuesta genera series cuyos estadísticos sean comparables con los registrados y posibilita el contraste de los resultados con valores observados en el sistema experimental utilizado.

El análisis de las series sintéticas puso de manifiesto la dependencia de Φ_{PMP} con μ_n y la influencia del σ , lo que lleva a su inclusión para la caracterización climática del sitio de interés. El modelo generado reviste carácter general, con lo que posibilita estimar la PMP conociendo tan solo el C_v local.

Referencias

- Caamaño Nelli, G. E., García, C. M. (1998). Precipitación Máxima Probable en 24 horas: Ensayo en el Noreste de Córdoba, Argentina. Cuadernos del Curiham, Año 4, 2, 13-26. UNR. Rosario, Argentina.
- Chow, V. T., (1951). A General Formula for Hydrologic Frequency Analysis. Transactions American Geophysical Union. 32, 231- 237.
- Guillén, N. F., Botelli, M. C., García, M. C. y Catalini, C.G. (2016). Estimación de Láminas de Lluvias Máximas Diarias y sus parámetros Estadísticos en el Centro y Norte de Argentina. V Taller de Diseño Hidrológico. Salta, Argentina.
- Hershfield, D. M.(1961). Estimating the Probable Maximum Precipitation. Proceedings ASCE, J.of Hydraulic Division. 87, 99- 106.
- Hershfield, D. M. (1965). Method for Estimating Probable Maximum Precipitation. J. American. Waterworks Association, 57 N° 8, 965- 972.
- Watt, W., (1989). Hydrology of floods in Canada: a guide to planning and design. Primera ed. Ottawa: Consejo Nace Investigación de Canadá.
- WMO (2009) Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation. World Meteorological Organization N° 1045 - Suiza.