OBTENCIÓN DE VALORES IDF EMPLEANDO SERIES DE PRECIPITACIÓN DESAGREGADAS A PARTIR DE UN MODELO DE CASCADA ALEATORIA

Andrés Gonzalo Burboa Lizama

Estudiante de Magíster, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, Chile.
E-mail: andresburboa@udec.cl

Resumen

Se presenta un método de estimación de valores de intensidad-duración-frecuencia (IDF) que utiliza series de precipitación desagregadas a partir de un modelo de cascada aleatoria. El método requiere dos series de precipitación: un registro limitado, de unos pocos años y alta resolución temporal, con el cual se calibra el modelo de cascada aleatoria; y un registro extenso, de varias décadas y baja resolución temporal, que se desagrega a partir del modelo calibrado. El método permite calcular valores IDF para duraciones menores a la resolución del registro extenso, que no podrían obtenerse con el registro de alta resolución debido a su reducido tamaño. Con este método se estimaron valores IDF para la ciudad de Concepción (Chile), utilizando una serie (limitada) de datos cada 1 min y otra (extensa) de resolución cercana a 1 hora (64 min). Los valores IDF generados, con duraciones entre los 5 y 60 min, presentan una diferencia promedio de 6.3% respecto a los valores IDF reales del lugar. Los resultados indican que el método es una buena alternativa para el análisis de precipitaciones extremas.

Introducción

La caracterización estadística de precipitaciones extremas plantea un gran problema para la hidrología y el diseño ingenieril, presentándose comúnmente en la forma de valores de intensidad-duración-frecuencia o IDF. En ocasiones, se necesitan valores IDF con una duración menor a la resolución de las series de precipitación disponibles, volviendo imposible su cálculo. Este problema se ha reducido con la aparición de los pluviógrafos digitales modernos, que entregan series de precipitación con una alta resolución temporal. Sin embargo, el cambio de tecnología no entrega una solución inmediata: aún deben registrarse un par de décadas de datos para poder realizar la caracterización estadística de la serie digital.

Para resolver este problema se ha planteado el uso combinado de esta serie digital y el registro extenso que normalmente existe. Una forma de hacerlo es extraer características de la precipitación desde el registro de alta resolución y utilizarlas para desagregar la serie extensa. Para ello existen modelos estocásticos de precipitación, como los de pulsos rectangulares (Koutsoyiannis y Onof, 2001) o de cascada aleatoria (Molnar y Burlando, 2005; Gaume *et al*., 2007; Licznar *et al*., 2011). En este caso se ha optado por un modelo de cascada aleatoria, aplicándolo en la obtención de valores IDF para la ciudad de Concepción (Chile).

Datos

Se utilizaron dos series de precipitación de Concepción: una de 39 años proveniente de un pluviógrafo analógico de flotador y sifón (mayo 1974 – octubre 2013), y otra de casi 7 meses registrada por un pluviógrafo digital OTT Pluvio^2 (septiembre 2014 – abril 2015).

Utilizando un programa de digitalización de pluviogramas (Burboa y Meier, 2016) se logró que el registro analógico ofreciera una serie con resolución de 5 min. Como la resolución de ambas series no es muy diferente, se agregó la serie analógica hasta una resolución de 64 min para poner a prueba al modelo de cascada aleatoria.

Método

Los modelos de cascada aleatoria distribuyen la precipitación a partir de divisiones sucesivas entre diferentes niveles de desagregación (Figura 1). En términos generales, la precipitación $R_{i,j}$, en la división i y el nivel j, se define según (Molnar y Burlando, 2005; Gaume *et al*., 2007):

$$R_{i,j} = R_0 \prod_{k=1}^{j} W_{f(i,j),k} \qquad [1]$$

Donde $i = 1,2, \dots b^j$, b es el número de ramificaciones, R_0 es la precipitación total, $f(i,j)$ es un índice igual al redondeo hacia arriba de i/b^{j-k}, y $W_{f(i,j),k}$ es llamado el generador de cascada.

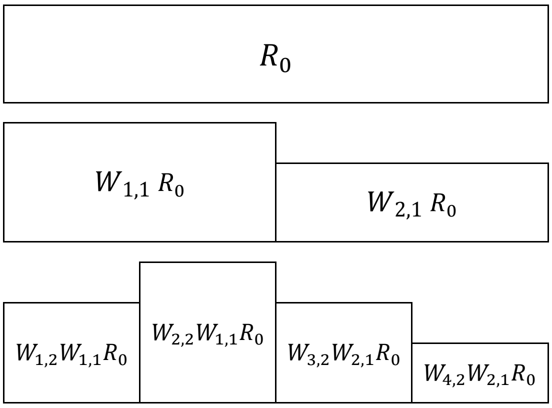

Figura 1.- Representación gráfica de un modelo de cascada aleatoria con $b = 2$ ramificaciones y $j = 0,1,2$ niveles de desagregación.

En este caso se utiliza un modelo de cascada microcanónica, que se caracteriza por conservar exactamente la precipitación. Además, se ha optado por un número de $b = 2$ ramificaciones. De esta forma, la suma de los dos generadores de una ramificación debe ser igual a 1:

$$W_{i,j} + W_{i+1,j} = 1 \qquad [2]$$

Un caso particular ocurre cuando uno de los generadores es cero y el otro uno, lo que se conoce como intermitencia. La probabilidad de intermitencia $p_{0,\mathrm{w}}$ se define como:

$$P\left(W_{i,j} = 0 \,\vee\, W_{i+1,j} = 0\right) = p_{0,\mathrm{w}} \qquad [3]$$

Y el otro caso es que ambos generadores no sean cero ni uno, donde su probabilidad se ajusta a una distribución Beta con forma simétrica (de dos parámetros iguales). En este caso se plantea una modificación a la definición tradicional: como la distribución de los generadores es simétrica, se trabaja solo con la mitad superior de ellos, ajustándolos una distribución Beta sin simetría, que puede adaptarse mejor a los cambios de forma de la distribución de probabilidad entre diferentes niveles de

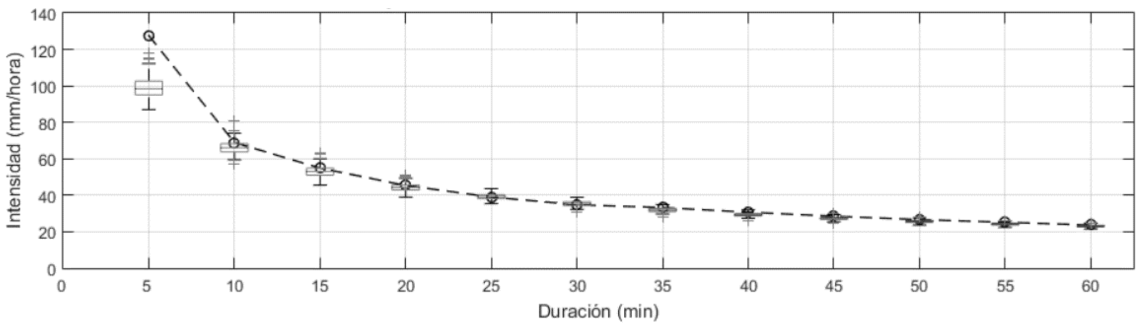

Figura 2.- Valores IDF con periodo de retorno 10 años para la ciudad de Concepción. Los círculos con líneas segmentadas corresponden los valores IDF reales; los diagramas de caja representan a los valores IDF de las 100 series generadas.

desagregación. La modificación mencionada es:

$$w' = \frac{1}{2}\left(w - \frac{1}{2}\right) \qquad \frac{1}{2} < w < 1 \qquad [4]$$

$$f(w') = \frac{1}{B(\alpha,\beta)} w'^{\alpha-1}(1-w')^{\beta-1} \qquad [5]$$

Donde w representa los generadores de cascada, w' es el cambio de variable que considera solo a la mitad superior de w, f es la función de densidad de probabilidad de la distribución Beta, α y β son sus parámetros, y B es la función Beta.

Por otra parte, en los análisis de precipitaciones extremas se plantea el uso de un enfoque de duración parcial (o de *peaks* sobre umbral, POT según sus siglas en inglés). Una distribución de probabilidad que se ajusta bien al enfoque de duración parcial es la distribución generalizada de Pareto (Stedinger *et al*., 1993), cuya función de probabilidad acumulada es:

$$F(x) = 1 - \left(1 + \xi \frac{(x-\mu)}{\sigma}\right)^{-\frac{1}{\xi}} \qquad [6]$$

Donde μ, σ y ξ son sus parámetros de umbral, escala y forma. Además, la relación entre la probabilidad y el periodo de retorno T en el enfoque de duración parcial está dada por:

$$T = \frac{1}{\lambda\left(1-F(x)\right)} \qquad [7]$$

Donde λ corresponde a una media de la cantidad de máximos por año (el número de *peaks* sobre umbral). De esta forma, los pasos a seguir con el método son los siguientes:

(1) Se agrega la serie digital desde 1 min a 64 min, pasando del nivel $j = 6$ a $j = 0$. Se calcula la probabilidad de intermitencia $p_{0,\mathrm{w}}$, se realiza el cambio de variable de w a w', y se calculan los parámetros α y β de la distribución Beta (todo esto para cada uno de los niveles j).

(2) Se desagrega la serie analógica desde 64 min a 1 min (yendo de $j = 0$ a $j = 6$) con los parámetros del paso (1). Se generan valores aleatorios para definir primero si hay intermitencia o no. Si no hay intermitencia, se genera un valor aleatorio de w' (distribuido según Beta), se vuelve a la variable w y se desagrega la precipitación con los generadores w y $1 - w$.

(3) Se realiza el análisis de precipitaciones extremas ajustando la distribución generalizada de Pareto. Primero se calcula una serie de máximos por evento de precipitación para duraciones entre 5 y 60 min. Con ella se prueban diferentes series de duración parcial, definidas a partir de distintos valores de umbral μ. Por cada serie (y umbral μ) se estiman los parámetros σ y ξ según máxima verosimilitud. En todos los ajustes se calcula el test de Kolmogorov-Smirnov. Se selecciona el ajuste que obtiene un menor valor del test (mejor bondad de ajuste), calculando los valores IDF con él.

(4) Se repite 100 veces los pasos (2) y (3), generando 100 series desagregadas a 1 min con sus respectivos valores IDF.

(5) Se realiza el paso (3) con la serie analógica original (de resolución 5 min), obteniendo los valores IDF reales del lugar. Se comparan los valores IDF reales con la mediana de los 100 valores IDF generados.

Resultados

En general, la mediana de los valores IDF generados se aproxima bastante a los valores IDF reales del lugar. La mayor diferencia es de un 21.3% para la duración de 5 min (promedio sobre periodos de retorno entre 5 y 100 años), sin embargo, disminuye notablemente a partir de los 10 min, alcanzando un 6.0% para 10 min o un 3.8% para 15 min. En la Figura 2 se muestran los valores IDF con periodo de retorno $T = 10$ años.

Conclusiones

Se presentó un método de estimación de valores IDF que emplea series de precipitación desagregadas mediante un modelo de cascada aleatoria. Se destaca la baja diferencia entre los valores IDF reales del lugar y los generados con el método, aunque para la duración de 5 min se obtuvo una discrepancia mayor. A futuro debe estudiarse el desempeño del método con una serie digital de mayor tamaño (al menos 1 año), además del uso de otro método para estimar los parámetros de la distribución generalizada de Pareto (como el de los L-momentos).

Referencias

Burboa, A., y C. Meier (2016). *PluvioReader: Un programa automático para la digitalización de pluviogramas*. XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Lima, Perú.

Gaume, E., N. Mouhous y H. Andrieu (2007). *Rainfall stochastic disaggregation models: Calibration and validation of a multiplicative cascade model*. Advances in Water Resources, 30, 1301–1319.

Koutsoyiannis, D. y C. Onof (2001). *Rainfall disaggregation using adjusting procedures on a Poisson cluster model*. Journal of Hydrology, 246, 109–122.

Licznar, P., J. Łomotowski y D. Rupp (2011). *Random cascade driven rainfall disaggregation for urban hydrology: An evaluation of six models and a new generator*. Atmospheric Research, 99(3–4), 563–578.

Molnar, P., y P. Burlando (2005). *Preservation of rainfall properties in stochastic disaggregation by a simple random cascade model*. Atmospheric Research, 77, 137–151.

Stedinger, J. R., R. M. Vogel y E. Foufoula-Georgiou (1993). *Frequency analysis of extreme events. In: Handbook of Hydrology, Chap. 18 (ed. by D. R. Maidment)*. McGraw-Hill, New York, USA.