

APLICACIÓN DE RELACIONES GENERALIZADAS DE LÁMINA-DURACIÓN-FRECUENCIA CON DATOS PLUVIOMÉTRICOS

Patricia M. López¹, Jorge A. Maza¹ y Pedro C. Fernández²

¹ Instituto Nacional del Agua-Centro Regional Andino ² CONICET (INA-CRA)
Belgrano 210 Oeste (5500) Ciudad - Mendoza Telefax: 0261-4288251 E-mail: pmlopez@ina.gov.ar

RESUMEN

Las metodologías establecidas para definir las curvas intensidad-duración-frecuencia (idf) requieren contar con información pluviográfica que en general, en Argentina, es corta y escasa.. Sin embargo, los registros pluviométricos son más largos y están más extendidos.

En este trabajo se aplica una relación generalizada de lámina-duración-frecuencia (ldf), válida para tormentas intensas de corta duración, utilizando información pluviométrica de la estación Observatorio Parque Gral. San Martín (Mendoza). Una fórmula empírica conocida permite relacionar la precipitación diaria y el número de tormentas convectivas anuales con el valor base de estas relaciones. Las precipitaciones de origen conectivo son identificadas mediante una metodología termodinámica, condensada en un ábaco de carta psicrométrica.

Las estimaciones obtenidas se comparan con dos conjuntos de relaciones generalizadas idf determinadas con diferentes niveles de información. Uno de ellos, basándose en el valor de precipitación recurrencia 10 años y duración 1 h, emplea una expresión matemática similar a la usada con datos pluviométricos. El segundo utiliza una relación funcional separable de las intensidades con respecto al período de retorno y a la duración, cuya forma particular se deriva de la función de distribución de probabilidades subyacente de las intensidades máximas. Las intensidades analizadas provienen del sensor remoto del INA-CRA, ubicado aproximadamente a 300 m de la estación meteorológica.

Las relaciones generalizadas obtenidas con datos pluviométricos no resultan ser tan satisfactorias como las anteriores, probablemente debido a que la relación empírica utilizada no es apropiada para describir las lluvias intensas analizadas. Sin embargo, para regiones donde los procesos de convección local son importantes y solo se cuenta con datos pluviométricos, éstas podrían ser usadas teniendo en cuenta que las subestimaciones pueden estar en el orden del 21 y 44%.

Palabras claves: relaciones idf, análisis de frecuencias, datos pluviométricos.

INTRODUCCIÓN

Las metodologías establecidas para definir las curvas intensidad-duración-frecuencia (idf) requieren contar con información pluviográfica que en general, en Argentina, es corta y escasa. Sin embargo, los registros pluviométricos son más largos y están más extendidos.

Esta situación ha originado estudios de la relación entre la precipitación observada y su duración con el propósito de estimar lluvias de duraciones menores a 24 h en función de observaciones diarias. Varas y Farías de Reyes (2000) presentan un análisis comparativo de trabajos realizados en la región latinoamericana clasificados según las relaciones generalizadas propuestas por Bell (1969) y Chen (1983).

Según los resultados presentados por Mauriño (2004), las relaciones de Bell (1969) válidas para duraciones entre 5 min y 2 h, son verificadas en diferentes regiones climáticas de Argentina y Zucarelli y Ceirano (2003) las utilizan con datos pluviométricos mostrando similitudes entre las estimaciones con datos pluviográficos.

En este trabajo se aplica la relación generalizada de lámina-duración-frecuencia (ldf) propuesta por Bell (1969) utilizando información pluviométrica de la estación Observatorio Parque Gral. San Martín (Mendoza) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). El valor base de la relación, precipitación recurrencia 2 años y duración 1 h, es estimado por una fórmula empírica que es función de la precipitación diaria y del promedio del número de días con tormentas convectivas en el año.

MATERIALES Y MÉTODOS

Relaciones generalizadas utilizando información pluviométrica

En este trabajo se aplican los resultados del estudio desarrollado por Bell (1969) de las razones entre precipitaciones de distintas duraciones e igual frecuencia (razón lámina-duración) y de distintas frecuencias e igual duración (razón lámina-frecuencia).

Utilizando datos de una amplia región climática (Alaska, Australia, Estados Unidos, Hawaii, Puerto Rico y Sudáfrica), Bell observó que las variaciones geográficas de las razones son muy pequeñas comparadas con los errores de muestreo y otras fuentes de incertidumbre, lo que le indica que las propiedades físicas de los mecanismos de tormentas convectivas son semejantes en numerosas regiones del planeta.

Esta consistencia le permitió a Bell expresar relaciones generalizadas de ldf para lluvias intensas de corta duración, que estiman la lámina de lluvia para duraciones (d) entre 5 min y 2 h y para períodos de retorno (T) de 2 a 100 años, conociendo el valor base de precipitación recurrencia 10 años y duración 1 h (P_{10}^{60}). Estas relaciones se obtienen según:

$$P_T^d = (0.21 \ln T + 0.52) (0.54 d^{0.25} - 0.5) P_{10}^{60} \quad (1)$$

Para regiones en donde no existen registros de precipitaciones de corta duración Bell propone, en el mismo trabajo, emplear una fórmula empírica derivada por Hershfield y Wilson que

utiliza información pluviométrica, para estimar la lámina de recurrencia 2 años y duración 1 h (P_2^{60}) que es el valor base de la relación generalizada:

$$P_T^d = (0.35 \ln T + 0.76) (0.54 d^{0.25} - 0.5) P_2^{60} \quad \text{para} \begin{cases} 5 \leq d \leq 120 \text{ min} \\ 2 \leq T \leq 100 \text{ años} \end{cases} \quad (2)$$

En este trabajo se determinan relaciones idf utilizando información pluviométrica (idf P) diaria de la estación Observatorio Parque Gral. San Martín (SMN) en el período 1966-2002.

La fórmula empírica de Hershfield y Wilson utilizada para estimar P_2^{60} , en pulgadas, es:

$$P_2^{60} = 0.17 M N^{0.33} \quad \text{para} \begin{cases} 0 < M \leq 2 \\ 1 < N \leq 80 \end{cases} \quad (3)$$

donde M es la media de las precipitaciones diarias máximas anuales en pulgadas y N la media del número de días con tormentas convectivas en el año.

La estimación de N se realiza aplicando una metodología termodinámica, espesada en un ábaco de carta psicrométrica (Fernández y Fattorelli, 2004), cuyas variables de entrada son condiciones atmosféricas de superficie, determinadas por valores diarios de temperatura máxima y humedad relativa registrados en la misma estación meteorológica.

Relaciones generalizadas utilizando información pluviográfica

A fin de comparar las estimaciones realizadas con la ec. (2) se utilizan dos conjuntos de relaciones idf obtenidas con diferentes niveles de información de registros de precipitaciones de corta duración. Un conjunto (G1), dado por la ec. (1), queda determinado por el valor de la precipitación de recurrencia 10 años y duración 1 h, mientras que el segundo (G2), propuesto por Koutsoyiannis et al. (1998), requiere contar con registros de intensidades máximas para las diferentes duraciones de interés.

La expresión presentada por Koutsoyiannis et al. (1998), consistente con los principios de la teoría de probabilidades del análisis de valores extremos, posee la ventaja de ser una relación funcional separable de i con respecto a T y d , cuya forma es:

$$i = \frac{a(T)}{b(d)} \quad (4)$$

donde $b(d)$ es:

$$b(d) = (d + \theta)^\eta \quad (5)$$

La forma particular de la función $a(T)$ se deriva de la función de distribución de probabilidades subyacente de las intensidades máximas $I(d)$.

Los registros de precipitación del sensor remoto del INA-CRA ubicado aproximadamente a 300 m de la estación meteorológica, son analizados en el periodo 1987-2004 a fin de determinar las series de intensidades máximas $I(d)$, para duraciones 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90 y 120 min, que serán utilizadas en los conjuntos de relaciones idf de contraste.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los registros de precipitación de la estación Observatorio Parque Gral. San Martín (SMN) establecen una media de precipitaciones diarias máximas anuales (M) igual a 39.3 mm. El número de días con tormentas convectivas en un año se determina contando en número de veces en que la precipitación observada coincide con un día identificado como de convección positiva. Para esto se utiliza el ábaco de carta psicrométrica (Fernández y Fattorelli, 2004), siendo las variables de entrada las observaciones diarias de temperatura máxima y humedad relativa.

De acuerdo a los objetivos de este trabajo se fija una relación de mezcla umbral, que define la condición de humedad de la atmósfera necesaria para la convección, igual a 8 g kg^{-1} . Los resultados muestran que la metodología empleada es potente para la identificación de tormentas convectivas en el período analizado (90%), determinándose un promedio de 37.8 días al año.

El valor P_2^{60} estimado, según la fórmula de Hershfield y Wilson (ec. 3), es igual a 22.1 mm y permite determinar las relaciones idf P según la ec (2) en función de la información pluviométrica.

El ajuste de una distribución Gumbel a la serie de precipitaciones de duración 1 h estima el valor P_{10}^{60} en 54.3 mm, permitiendo determinar el conjunto de relaciones G1 según la ec. (1).

El conjunto de relaciones G2 fue determinado considerando que la intensidad de precipitación $I(d)$ para cualquier duración d tiene distribución Gumbel. La expresión de la función $a(T)$ en la ec. (4) para esta distribución, con parámetros λ y ψ , es igual a:

$$a(T) = \lambda \left\{ \psi - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad (6)$$

quedando las relaciones idf determinadas por:

$$i = \frac{a(T)}{b(d)} = \lambda \frac{\psi - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]}{(d + \theta)^\eta} \quad (7)$$

En este trabajo los parámetros de la ec. (7) se estiman en un solo paso, según un método propuesto por Koutsoyiannis et al. (1998) basado en la minimización del error cuadrático medio de la relación idf ajustada a los datos. La expresión resultante, para i en mm h^{-1} y d en h, es:

$$i = 16.53 \frac{\left\{ 1.6 - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\}}{(d + 0.198)^{0.895}} \quad (8)$$

Para la estación analizada, las relaciones generalizadas idf derivadas con datos pluviométricos resultan ser menos satisfactorias que las obtenidas a partir de registros de precipitaciones de corta duración, produciendo subestimaciones para todas las recurrencias y duraciones consideradas.

El ajuste entre observaciones y estimaciones fue evaluado mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov obteniéndose para las estimaciones pluviométricas un valor- p menor que 0.001, mientras que este mismo valor para las estimaciones G1 y G2 es 0.999 y 0.074, respectivamente.

En las figuras 1 a 3 se presentan las comparaciones gráficas de las estimaciones realizadas para algunas duraciones seleccionadas. Se advierte que las relaciones obtenidas con precipitaciones de corta duración (G1 y G2) producen resultados similares para recurrencias entre 5 y 25 años (valor variable reducida Gumbel 1.5 y 3.2). Las diferencias más importantes se observan para la recurrencia 2 años (valor variable reducida Gumbel 0.37), producidas por la sobreestimación de las relaciones G1.

En la Tabla 1 se presentan las diferencias entre las estimaciones obtenidas, encontrándose subestimaciones entre el 21 y 44% para las relaciones determinadas con datos pluviométricos. La forma en la que las expresiones de Bell son desarrolladas hace que las diferencias entre ellas sean constantes para las duraciones consideradas y solo varíen en función de la recurrencia.

Tabla 1. Diferencias entre las distintas estimaciones generalizadas en porcentaje

		<i>T</i> en años					
<i>d</i> [min]		2	5	10	25	50	100
$\frac{(G2 - P)}{G2}$	5	28	34	36	38	39	39
	10	32	38	40	41	42	43
	15	34	39	41	42	43	44
	30	33	39	40	42	43	43
	45	31	37	39	40	41	42
	60	29	35	37	38	39	40
	90	25	31	33	35	36	36
	120	21	28	30	32	33	33
$\frac{(G2 - G1)}{G2}$	5	-18	-5	-1	3	5	6
	10	-12	1	5	9	10	12
	15	-10	3	7	10	12	14
	30	-11	2	6	10	11	13
	45	-14	-1	3	7	9	10
	60	-18	-4	0	4	6	7
	90	-24	-10	-5	-2	0	2
	120	-30	-15	-10	-6	-4	-3
$\frac{(G1 - P)}{G1}$		39	37	36	36	35	35

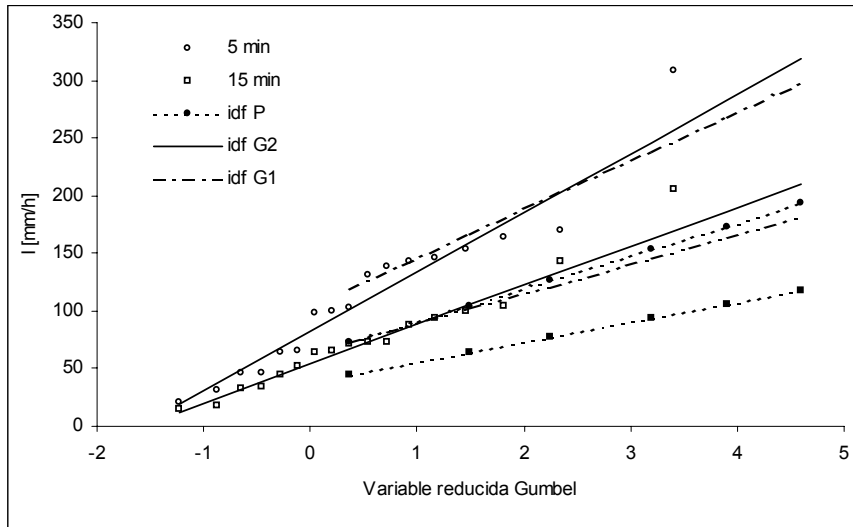


Figura 1. Ajuste intensidades máximas 5 y 15 min

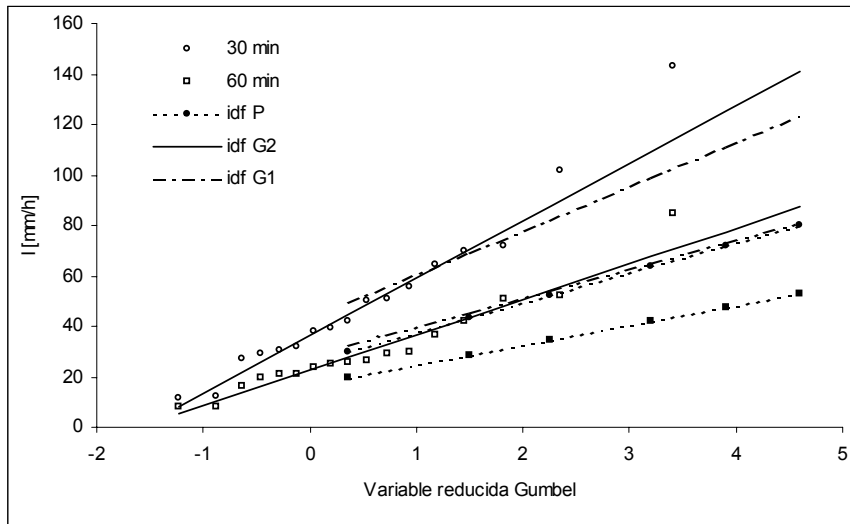


Figura 2. Ajuste intensidades máximas 30 y 60 min

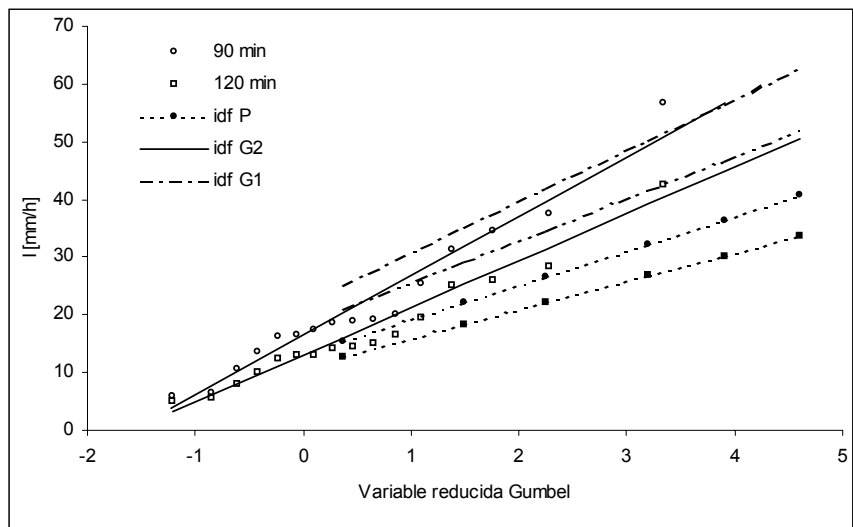


Figura 3. Ajuste intensidades máximas 90 y 120 min

CONCLUSIONES

Las observaciones diarias de precipitación, temperatura máxima y humedad relativa de la estación Observatorio Parque Gral. San Martín permiten determinar relaciones generalizadas idf basadas en registros pluviométricos.

Los dos conjuntos de relaciones generalizadas idf que utilizan información de precipitaciones de corta duración obtenida de los registros de precipitación del sensor remoto del INA-CRA, ajustan a las observaciones y producen resultados similares.

Los resultados obtenidos son coincidentes con los de otros autores. Las relaciones generalizadas con valor base P_{10}^{60} , manifiestan ser adecuadas para describir los procesos de convección local que predominan en las regiones semiáridas (Mauriño, 2004). La forma propuesta para describir las relaciones idf considerando, conjuntamente, la función de distribución de las intensidades máximas y su dependencia funcional con la duración, demuestran ser una parametrización eficiente de la relación entre variables (Koutsoyiannis et al. 1998).

Las relaciones generalizadas obtenidas con datos pluviométricos no resultan ser tan satisfactorias como las anteriores, probablemente debido a que la relación empírica de Hershfield y Wilson no es apropiada para describir las lluvias intensas analizadas. Sin embargo, para regiones donde los procesos de convección local son importantes y solo se cuenta con datos pluviométricos, éstas podrían ser usadas teniendo en cuenta que las subestimaciones pueden estar en el orden del 21 y 44%.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Fuerza Aérea Argentina - Servicio Meteorológico Nacional por suministrar la información meteorológica de la estación Observatorio Parque Gral. San Martín (Mendoza), cedida en el marco del proyecto "Modelación Hidrológica de la Cuenca Norte de la Provincia de Mendoza". Proyecto INA-CRA 5.127.

BIBLIOGRAFÍA

- Bell, F. C.** (1969) "Generalized Rainfall-Duration-Frequency Relationships". Journal of the Hydraulics Division, ASCE. Vol. 95 N° 1, enero, pp.311-327.
- Chen, C. L.** (1983) "Rainfall Intensity-Duration-Frequency Formulas". Journal of Hydraulic Engineering, ASCE. Vol. 109, N° 12, diciembre, pp. 1603-1621.
- Fernández, P. C. y S. Fattorelli** (2004) "Un Método Termodinámico para el Pronóstico Cuantitativo de la Precipitación Convectiva para el Alerta del Gran Mendoza". Trabajo presentado para su aprobación al XX Congreso Nacional del Agua. Mendoza.
- Koutsoyiannis, D.; D. Kozonis y A. Manetas** (1998) "A Mathematical framework for Studying Rainfall Intensity-Duration-Frequency Relationships". Journal of Hydrology. Vol. 206, pp. 118-135.
- Mauriño, M. F.** (2004) "Generalized Rainfall-Duration-Frequency Relationships: Applicability in Different Climatic Regions of Argentina". Journal of Hydrologic Engineering, ASCE. Vol. 9, N° 4, pp. 269-274.
- Varas, E. y M. Fariás de Reyes** (2000) "Estudio Comparativo de relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia". XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Tomo II, pp. 359-366. Córdoba, Argentina.
- Zucarelli, G. V. y E. B. Ceirano** (2003) "Determinación de Curvas I-D-F a partir de Datos de Pluviómetro en la Estación San José de Feliciano (Entre Ríos, Argentina)". Cuadernos del CURIHAM. Vol. 9, 1° Semestre, pp. 9-15.