

## Influencia de los embalses y lagos en las intensidades máximas de precipitación

ROBERTO PIZARRO, CLAUDIA SANGÜESA & DAYANNA ARAVENA

*Departamento de Gestión Ambiental, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca, Talca, Chile*  
[rpizarro@utalca.cl](mailto:rpizarro@utalca.cl)

**Resumen** En el estudio se construyen y analizan las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) para 31 estaciones pluviográficas, distribuidas en cinco regiones de Chile central, abarcando desde zonas semiáridas por el Norte a zonas subhúmedas por el Sur. Estas curvas se construyen utilizando los registros pluviográficos entre los años 1962 y 2002, de donde se obtienen las intensidades máximas para cada año, las que posteriormente son ajustadas a la función de probabilidad de Gumbel, de donde se obtienen intensidades para duraciones entre 1 y 24 horas, asociadas a distintos periodos de retorno. Posteriormente se analiza el comportamiento gráfico de las intensidades máximas de precipitación para las duraciones de 1 y 24 horas y para el periodo de retorno de 100 años, donde las estaciones fueron ubicadas de Norte a Sur. Según este análisis, el comportamiento de las intensidades máximas de precipitación demuestra un leve incremento de Norte a Sur; asimismo, se encontró que algunas estaciones de la zona semiárida presentaron intensidades de precipitación similares a las que se registraron en zonas subhúmedas. Por otro lado se encontró que las estaciones cercanas a lagos y embalses, denotaron las intensidades más altas de sus zonas.

**Palabras clave** intensidad-duración-curvas de frecuencia; intensidades máximas de precipitación; periodos de retorno para intensidades de precipitación

### Influence of reservoirs and lakes on maximum rainfall intensities in Chile

**Abstract** This study analyses intensity duration frequency curves for 31 raingauge stations located in different climatic zones in Chile, including arid and semiarid zones and humid zones. These curves were built using pluviograph records taken from 1962 to 2002. Maximum intensities for each year were obtained; then, for each duration, Gumbel distribution functions were fit with optimum results, from a statistical point of view. Gumbel functions were used for 1, 2, 6, 12 and 24 hours; then, curves were built using different return periods. With all results, maximum intensities were analysed, mainly for 1 hour and 24 hour, and for a return period of 100 years. The graphical behaviour of maximum intensities showed a slight increase from north to the south; also, some raingauge stations in the semiarid zone showed similar intensity values to southern region stations. On the other hand, raingauge stations located near lakes and dams recorded the highest intensities of their zones.

**Key words** intensity–duration–frequency curves; maximum rainfall intensities; return period for rainfall intensities

## INTRODUCCIÓN

Los fenómenos naturales de intensidad de precipitación extrema en la zona central de Chile, provocan crecidas e inundaciones, principalmente en sectores urbanos, a causa de la evacuación de las aguas lluvias. Por ello, conocer las magnitudes y el comportamiento de las intensidades máximas de precipitación, asociadas a un periodo de retorno y a una duración, junto a una acertada planificación y realización de proyectos de diseño hidrológico, son elementos de vital importancia para el diseño de puentes o sistemas colectores de aguas pluviales (Espíldora, 1971; Mintegui y López, 1990; Llamas, 1993; Osborn, 2002). Por otro lado, se ha observado que en los sectores con presencia de embalses y lagos, las intensidades máximas no presentan el mismo comportamiento que en los sectores sin presencias de dichas masas (Pizarro *et al.* 2001; Cornejo, 2004; Macaya, 2004; Pavez, 2004). En este contexto, el presente estudio construye y analiza el comportamiento de las Curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) para 31 estaciones pluviográficas, distribuidas en parte de la zona árida y semiárida de Chile, de las cuales 8 se encuentran ubicadas en la cercanía de embalses y lagos.

## DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende a 5 regiones de Chile central distribuidas entre los 29°02' y 39°37' de Latitud Sur y los 69°49' de Longitud Oeste y el Océano Pacífico (I.G.M., 1985). Estas regiones corresponden, de Norte a Sur, a Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, Lib. Gral. Bernardo O'Higgins y Maule. Ellas se encuentran inmersas en un sistema climático mediterráneo, semiárido y subhúmedo y se caracteriza por la extrema variabilidad de las precipitaciones entre un año y otro,

observándose ciclos alternos que se descomponen en períodos muy lluviosos y períodos con precipitaciones por debajo de lo normal. La precipitación media en un año normal en la zona central de Chile varía de 312 mm a 900 mm (D.M.C., 2002).

## METODOLOGÍA

La metodología contempló en primer lugar, la selección de las estaciones pluviográficas, que en total fueron 31, distribuidas entre las regiones mencionadas anteriormente (Fig. 1). El criterio de selección fue la periodicidad de los datos, donde el registro mínimo fue de 10 años.

Las construcciones de las curvas IDF, se basó en el método gráfico propuesto por Témex (1978), el que consistió en la selección de los valores extremos anuales de precipitación a partir de las bandas pluviográficas de cada estación, asociadas a distintas duraciones (1; 2; 4; 6; 8; 12 y 24 horas).

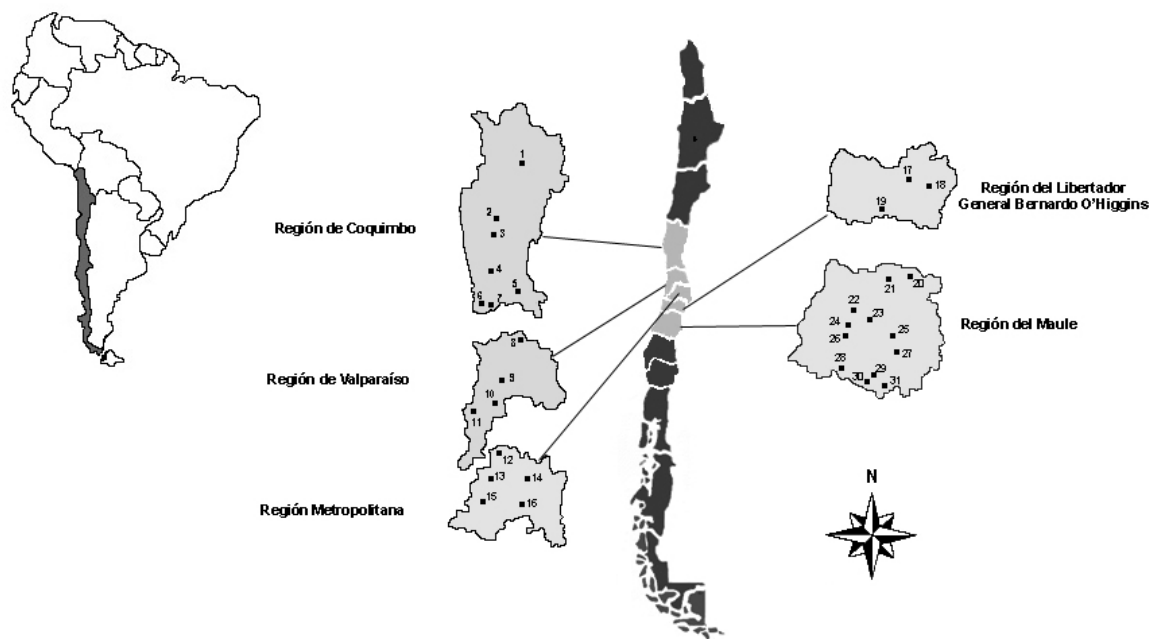
Luego se obtuvo la intensidad máxima anual, en mm/h, dividiendo el valor de cada precipitación por su respectiva duración. Posteriormente, estos datos fueron ajustados a la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel, que presenta buenos ajustes para valores máximos de intensidades (Maidment, 1993; Sivapalan & Blöschl, 1998; Mohymont *et al.*, 2004), la que se define como:

$$F(x) = P[\varepsilon \leq X] = e^{-e^{-\sigma(x-\mu)}} \quad -\infty \leq X \leq \infty \quad (1)$$

Donde,  $X$  es el valor a asumir por la variable aleatoria y  $\sigma$ ,  $\mu$  son parámetros a estimar en función de los valores de la muestra.

De este modo, se obtuvieron las curvas IDF para los periodos de retorno de 5; 10; 20; 30; 40; 50; 60; 75 y 100 años, utilizando como medida de bondad de ajuste el Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) y el Test de Kolmogorov-Smirnov.

Así, se obtuvieron familias de 9 curvas, asociadas a distintas intensidades, periodos de retorno y duraciones para cada estación, de las cuales se seleccionaron los valores de 1 y 24 horas, las que fueron comparadas gráficamente de norte a sur y para el periodo de retorno de 100 años.



**Fig. 1** Mapa de ubicación de las 31 estaciones pluviográficas de Chile Central.

1: Rivadavia, 2: Embalse la Paloma, 3: Embalse Cogote, 4: Illapel, 5: La Tranquilla, 6: Los Cóndores, 7: Quelón, 8: Hacienda Pedernal, 9: Quillota, 10: Embalse Lliu-Lliu, 11: Lago Peñuelas, 12: Embalse Rungue, 13: Los Panguiles, 14: Cerro Calán, 15: Melipilla, 16: Pirque, 17: Rengo, 18: Central las Nieves, 19: Convento Viejo, 20: Potrero Grande, 21: Los Queñes, 22: Pencahue, 23: Talca, 24: San Javier, 25: Colorado, 26: Melozal, 27: Embalse Ancoa, 28: Parral, 29: Embalse Digua, 30: San Manuel, 31: Embalse Bullileo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 entrega los valores de las intensidades máximas de precipitación para la duración de 1 y 24 horas y para el periodo de retorno de 100 años.

En la tabla anterior, se advierte que no existe mucha diferencia entre algunas estaciones ubicadas al norte, como la estación Rivadavia, con estaciones ubicadas en la región del Maule, entre ellas San Javier y Talca, las que se encuentran a más de 750 km de distancia en línea recta.

Por otra parte, un hecho de gran relevancia que se observó, es que las intensidades más altas, se registraron en estaciones ubicadas cerca de cuerpos de agua, como Embalse la Paloma (23.4 mm h<sup>-1</sup>) y Embalse Cogotí (20.4 mm h<sup>-1</sup>), pertenecientes a la Región de Coquimbo (gráfico 6); Embalse Lliu-Lliu (31.8 mm h<sup>-1</sup>) y Lago Peñuelas (37.4 mm h<sup>-1</sup>), ubicadas en la Región de Valparaíso (gráfico 7); Embalse Digua (28.2 mm h<sup>-1</sup>), Colorado (28.2 mm h<sup>-1</sup>) y Embalse Bullileo (25.6 mm h<sup>-1</sup>), pertenecientes a la Región del Maule, los que se vieron acrecentados con el periodo de retorno de 100 años.

Para determinar y comprobar el efecto producido por la presencia de cuerpos de agua sobre las intensidades máximas de precipitación, se realizó un análisis gráfico de las intensidades máximas, asociadas a los dos periodos de retorno y las duraciones consideradas (Fig. 2 y 3). Las estaciones se ordenaron de acuerdo a su latitud en forma creciente, es decir, de Norte a Sur. Asimismo, en la Fig. 2 se consideraron todas las estaciones, mientras que en la Fig. 3 fueron eliminadas las estaciones cercanas a cuerpos de agua.

De los gráficos anteriormente expuestos, se desprende que las intensidades máximas de precipitación asociadas a un periodo de retorno de 100 años, se distribuyen de forma creciente conforme se avanza en la latitud. Esta situación se hace más evidente para la duración de 1 hora en relación a la de 24 horas.

**Tabla 1** Valores de intensidad de precipitación de 1 y 24 horas, para el periodo de retorno de 100 años.

Región	Estaciones	Intensidad de precipitación (mm h <sup>-1</sup> ) (periodo de retorno 100 años)	
		1 hora	24 horas
Coquimbo	Rivadavia	15.38	4.2
	Embalse La Paloma*	27.5	5.0
	Embalse Cogotí*	20.4	5.8
	Illapel	18.4	4.4
	La Tranquilla	17.1	4.1
	Los Cóndores	18.5	5.9
	Quelón	17.8	3.5
Valparaíso	Hacienda Pedernal	20.2	7.3
	Quillota	22.6	5.7
	Embalse Lliu-Lliu.*	31.8	10.9
	Lago Peñuelas.*	37.4	13.1
Metropolitana	Embalse Rungue*	18.8	6.2
	Cerro Calán	21.5	5.8
	Los Panguiles	19.2	6.9
	Pirque	18.4	6.0
	Melipilla	34.7	5.5
Libertador General Bernardo O'Higgins	Rengo	21.4	5.4
	Central las Nieves	19.4	8.3
	Convento Viejo	23.5	5.8
Maule	Los Queñes	30.1	7.7
	Potrero Grande	30.7	8.7
	Pencahue	19.6	4.5
	Talca	16.3	4.5
	San Javier	18.0	4.3
	Colorado*	28.2	7.5
	Melozal	22.7	6.1
	Embalse Ancoa	23.4	8.3
	Parral	23.7	6.1
	Embalse Digua*	30.9	8.7
	Embalse Bullileo*	25.6	9.0
	San Manuel	28.5	9.1

\*Estaciones cercanas a cuerpos de agua (embalses, lagos).

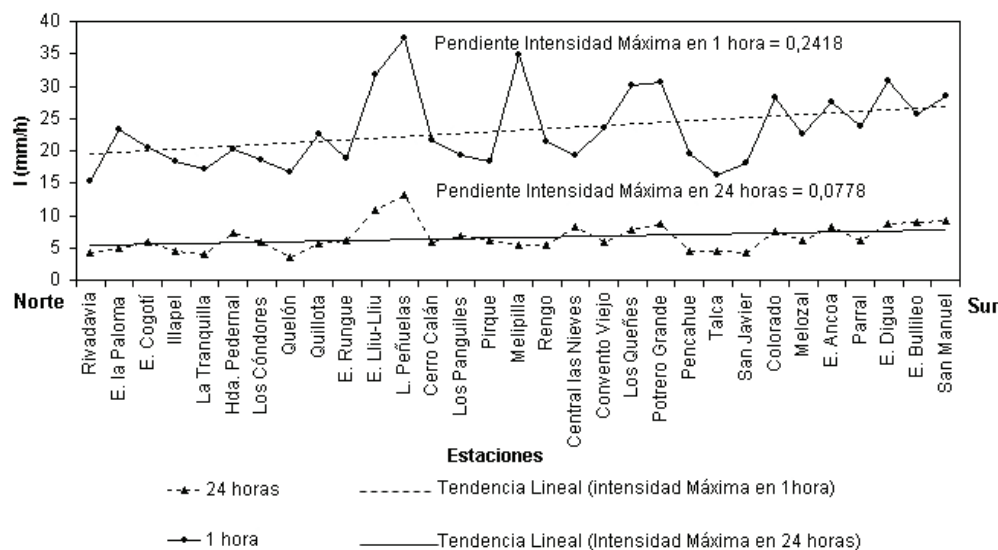


Fig. 2 Gráfico de intensidades de precipitación para un periodo de retorno de 100 años, considerando las estaciones cercanas a cuerpos de agua.

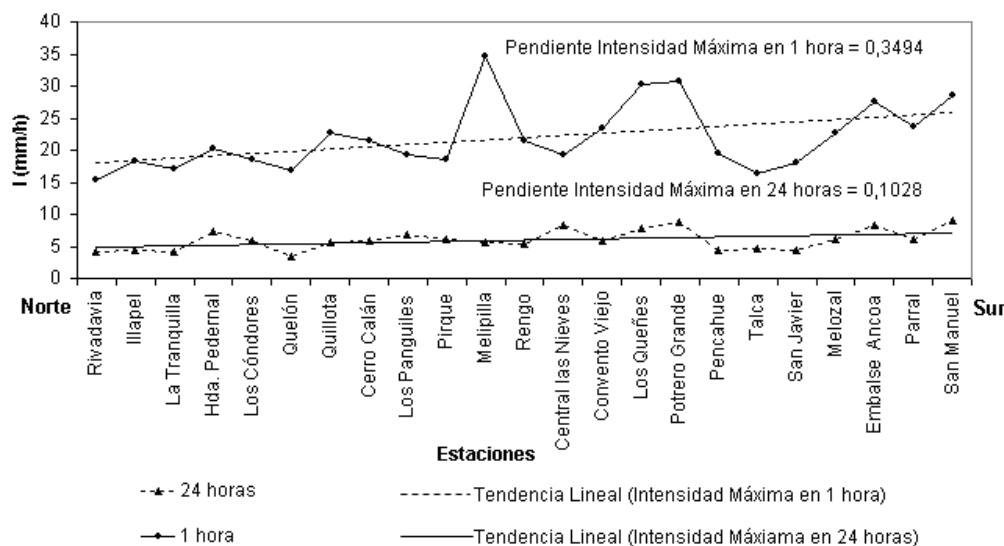
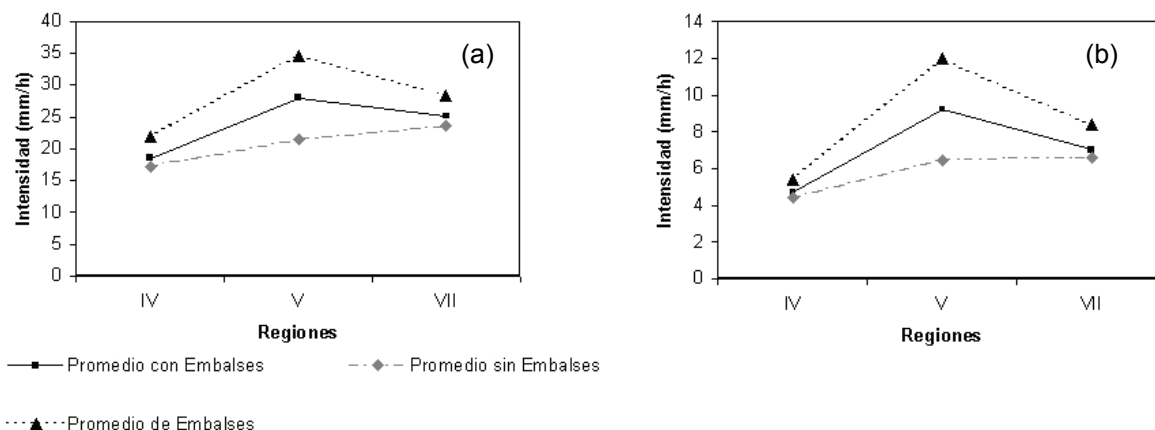


Fig. 3 Gráfico de intensidades de precipitación para un periodo de retorno de 100 años, sin considerar las estaciones cercanas a cuerpos de agua.

Por otro lado, las pendientes de las rectas con presencia de embalses fueron menores a la pendiente de la recta en ausencia de cuerpos de agua. Esta diferencia se hizo más evidente para la duración de 1 hora, que presentó un valor de 0.2418 para el conjunto de todas las estaciones (Fig. 2) y de 0.3494 al ser eliminadas las estaciones cercanas a cuerpos de agua (Fig. 3). Esto lleva a pensar que sí existe una influencia de los cuerpos de agua sobre las intensidades máximas de precipitación, principalmente en regiones ubicadas más al Norte, como la Región de Coquimbo y de Valparaíso, lo que provoca que la pendiente de la línea de tendencia de las intensidades sea menos acusada.

Para ratificar el efecto que los embalses o lagos, ya sean naturales o artificiales, tienen sobre las intensidades máximas, se graficó para cada región el promedio de todas las estaciones; luego, el promedio de todas las estaciones, excluyendo las cercanas a cuerpos de agua y el promedio de las estaciones cercanas a lagos y embalses. Estos fueron determinados para la duración de 1 hora y para 24 horas (Fig. 4(a) y 4(b), ambos para el periodo de retorno de 100 años. En estos gráficos fueron excluidas las regiones que no contaron con la presencia importante de embalses o lagos.

En ambos gráficos se observa claramente que la intensidad promedio de los lagos y embalses, es superior al promedio donde se consideran todas las estaciones y esta diferencia se acrecienta para



**Fig. 4** Promedio regional de las intensidades máximas de precipitación para la duración de: (a) 1 hora y periodo de retorno de 100 años; (b) 24 horas y periodo de retorno de 100 años.

el promedio sin embalses. Además, para ambas duraciones, los promedios más altos están dados para la Región de Valparaíso, la que cuenta con la presencia de 2 embalses, el Lliu-Lliu y el Lago Peñuelas, los que presentaron intensidades de  $31.8$  y  $37.4$   $\text{mm h}^{-1}$  respectivamente para la duración de 1 hora y  $10.9$  y  $13.1$   $\text{mm h}^{-1}$  para la duración de 24 horas y el periodo de retorno de 100 años.

## CONCLUSIONES

Se observó que algunas de las estaciones ubicadas en el extremo Norte de la zona de estudio, presentaron intensidades similares a las que se obtuvieron en la región del Maule, ubicada al Sur.

El análisis de intensidades máximas arroja un comportamiento de éstas que es levemente ascendente en magnitud de norte a sur.

En general, en casi todas las regiones, las estaciones cercanas a cuerpos de agua, registraron valores de intensidad superior al resto de de sus estaciones, por lo que se concluye que la presencia de cuerpos de agua, aumenta la magnitud de las intensidades, y con ello provoca que el aumento latitudinal de éstas sea más gradual.

## REFERENCIAS

- Cornejo, M. (2004) Determinación gráfica y matemática de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia en siete estaciones pluviográficas de la región de Coquimbo. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca, Chile.
- D.M.C. (Dirección Meteorológica de Chile) (2002) <http://www.meteochile.cl>.
- Espíldora, B. (1971) Estimación de curvas intensidad-duración-frecuencia mediante coeficientes generalizados. *Memorias I Coloquio Nacional Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica*. Chile.
- I.G.M. (Instituto Geográfico Militar) (1985) *Atlas geográfico de Chile*. Talleres gráficos del Instituto Geográfico Militar de Santiago. Chile.
- Llamas, J. (1993) *Hidrología general. Principios y aplicaciones*. Editorial Universitaria del País Vasco, Bilbao, España.
- Macaya, K. (2004) Construcción de las Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para estaciones pluviográficas de las regiones de Valparaíso y de O'Higgins, y análisis comparativo con algunas estaciones de las regiones Metropolitana y del Maule. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca. Talca. Chile.
- Maidment, D. (1993) *Handbook of hydrology*. Editorial Mc Graw-Hill. New York, USA.
- Mintegui, J. & López, F. (1990) *La ordenación Agrohidrológica en la Planificación*. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Vitoria – Gasteiz. Spain.
- Mohymont, B., Demarée, G. & Faka, D. (2004) Establishment of IDF-curves for precipitation in the tropical area of Central Africa. Comparison of techniques and results. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **4**, 375–387. EGU.
- Osborn, T. (2002) Observed and simulated changes in the distribution and extremes of precipitation over the UK. In: *Proc. EGS XXVII General Assembly, Nice*, vol. 27, 1862.
- Pavéz, M. (2004) Determinación gráfica y matemática de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), en seis estaciones pluviográficas de la Región del Maule. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca. Talca. Chile.
- Pizarro, R., Abarza, A. & Flores, J. (2001) Determinación de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia IDF, para 6 estaciones pluviográficas de la VII Región. *Revista Virtual de UNESCO*. <http://biblioteca.unesco.org.uy>.
- Sivapalan, M. & Blöschl, G. (1998) Transformation of point rainfall to areal rainfall: Intensity–duration–frequency curves. *J. Hydrol.* **204**, 150–167.
- Témez, J. (1978) *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Dirección General de Carreteras. Madrid. España.