

Fuerte Subestimación de los Valores IDF para Concepción (¿y Chile?) con Métodos Tradicionales



Claudio Meier V.

Ximena Soto C.

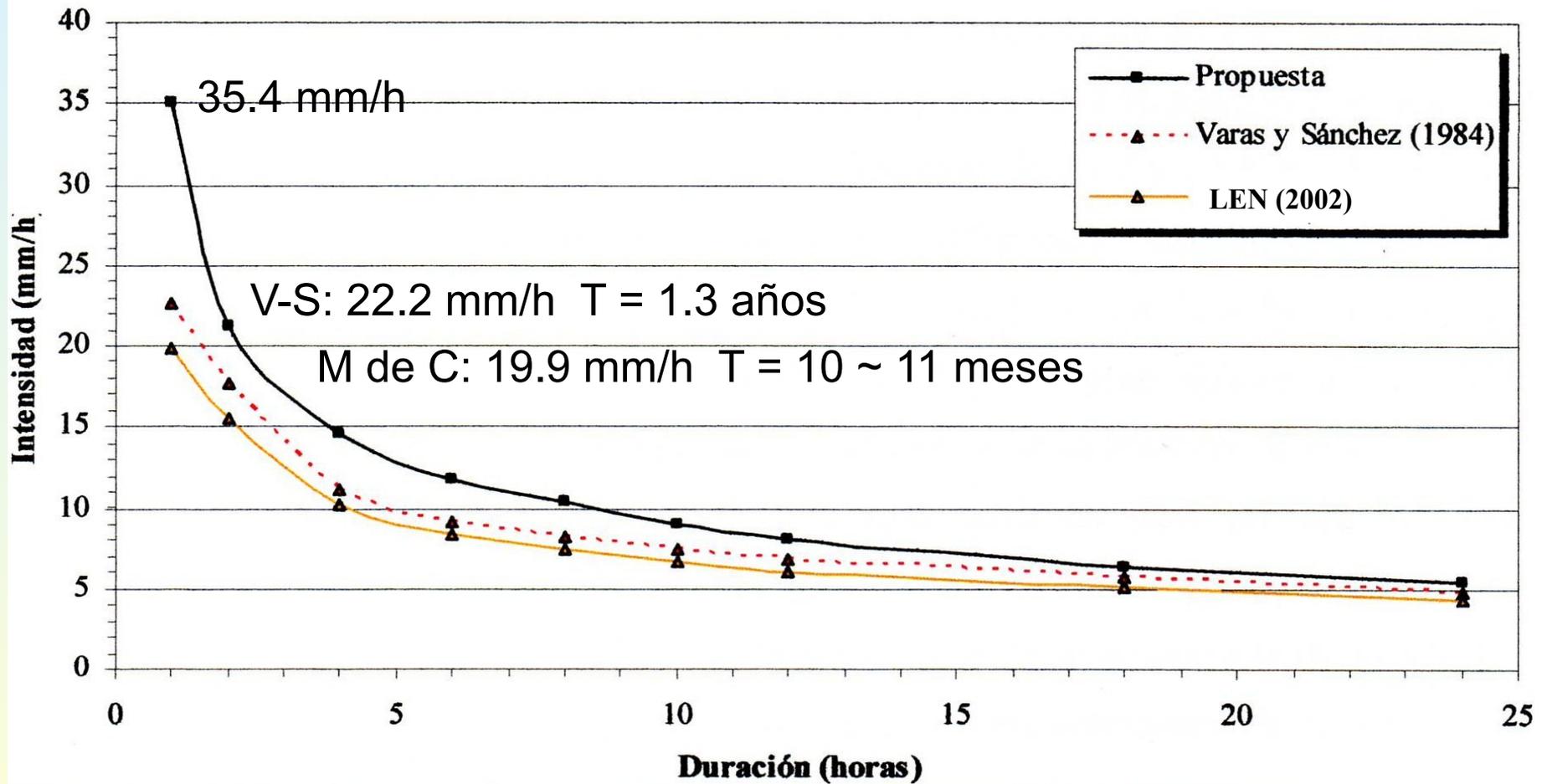
Depto. de Ingeniería Civil

Universidad de Concepción



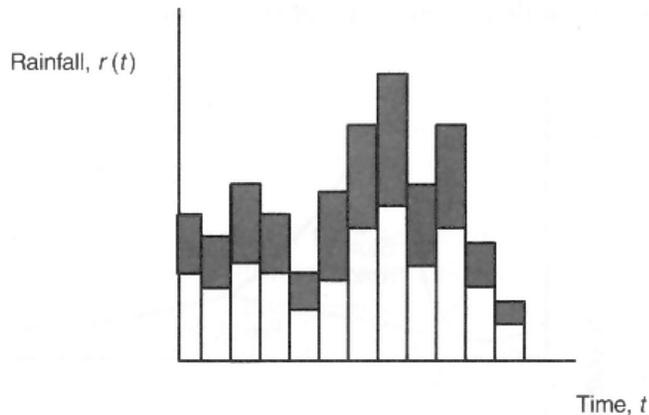
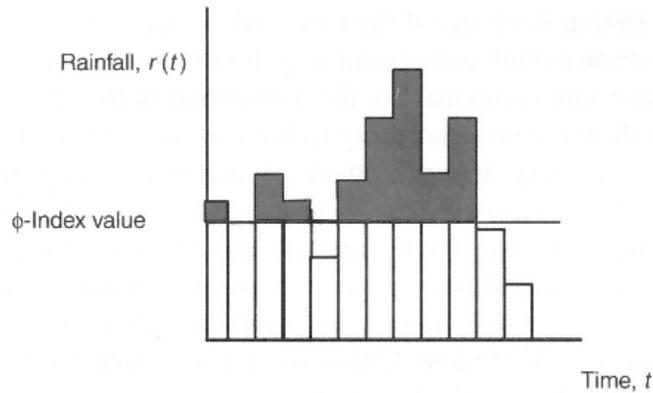
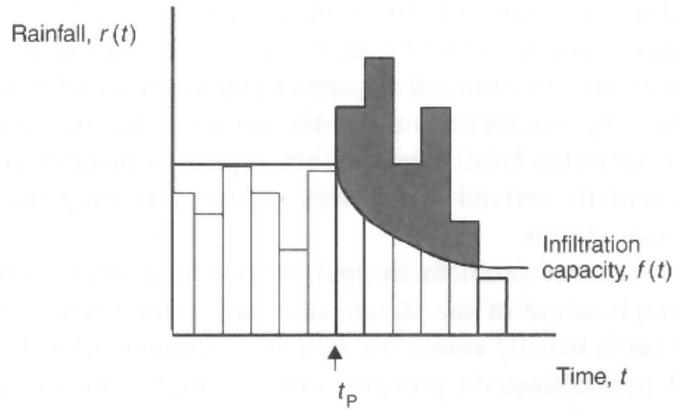
Ejemplo: La lluvia sobre 1 h, para T = 10 años

Curvas IDF estimadas para Concepción, T= 10 años



Temario

- 1. Motivación
- 2. Objetivos y metodología
- 3. Resultados
- 4. ¿Subestima fuertemente la metodología usual?
- 5. ¿Hay un problema y cuáles son sus causas?



1. Motivación

Para diseñar el drenaje de obras viales, calles, y pasos bajo nivel, los sistemas de evacuación de aguas lluvia, las alcantarillas bajo caminos, etc. , se requiere cuantificar los caudales de crecida.

Como este tipo de cuencas no cuenta casi nunca con datos de caudal, se necesita conocer las intensidades de lluvia para una cierta duración y frecuencia, para aplicar luego un modelo precipitación-escorrentía

→ **Valores IDF**

Valores IDF para Concepción:

Autor	Estación	Período de registro	Longitud de registro	Tipo de serie de tiempo	Análisis de frecuencia
Varas y Sánchez (1984)	Carriel Sur	1961-1981	17 años	Máximos anuales	Distribución Gumbel
LEN (2002)	Carriel Sur	1961-1999	33 años	Máximos anuales	Distribución Gumbel
Celis (1984)	Bellavista	1971-1983	13 años	Máximos anuales	Distribución Log normal 3
Ruiz (2000)	Bellavista	1971-1999	29 años	Máximos anuales	Método gráfico: Weibull
Presente investigación	Bellavista	1974-1998	24 años	Duración parcial	Distribución Gamma 2

y máximos
anuales

Sin embargo, nadie hasta ahora había usado el enfoque de duración parcial, que es más apropiado para períodos de retorno pequeños, y cuando las series son cortas, como es común en Chile.

Períodos de retorno de diseño:

Según el Manual de Carreteras:

TABLA 3.702.2.B
PERIODOS DE RETORNO PARA DISEÑO

Tipo de Obra	Tipo de Ruta	Período de Retorno (T, años)		Vida Util Supuesta (n; años)	Riesgo de Falla (%)	
		Diseño ⁽³⁾	Verificación ⁽⁴⁾		Diseño	Verificación
Puentes y Viaductos ⁽¹⁾	Carreteras	200	300	50	22	15
	Caminos	100	150	50	40	28
Alcantarillas (S>1,75 m ²) o H terrap. ≥10 m y Estructuras Enterradas ⁽²⁾	Carreteras	100	150	50	40	28
	Caminos	50	100	30	45	26
Alcantarillas (S<1,75 m ²)	Carreteras	50	100	50	64	40
	Caminos	25	50	30	71	45
Drenaje de la Plataforma	Carreteras	10	25	10	65	34
	Caminos	5	10	5	67	41
Defensas de Riberas	Carreteras	100	-	20	18	-
	Caminos	100	-	20	18	-

S = Sección útil de la alcantarilla

Períodos de retorno de diseño:

En el Reino Unido (drenaje vial):

5.3 Highway drainage systems are designed to intercept and remove rainfall from short duration, high intensity events with return periods of 1 year (for no surcharge of piped systems or road-edge channels) or 5 years for no flooding of the carriageway. Flood flows from natural catchments can have durations of several hours so the potential for traffic disruption is greater than that produced by runoff from paved surfaces lasting only a few minutes. For this reason, it is recommended that flow rates from natural catchments without defined watercourses should be assessed for design storms with a return period of 75 years (see

En el Reino Unido (cont.):

B.1 The primary purposes of road drainage systems are to minimise water depths occurring on road surfaces during heavy storms and to prevent seepage causing damage to the pavement construction. Since runoff occurs rapidly from roads, the most critical storm conditions for the design of surface water drainage systems are normally associated with heavy rainfall events typically lasting between 2 and 15 minutes.

¡En Chile, simplemente no existen datos para poder hacer este tipo de diseño!

La mayoría de los pluviógrafos de buena calidad, con series largas, registró en rollos semanales. En otros estudios, se usaron de cubetas basculantes.

2. Objetivos

El objetivo general de esta investigación es estimar las curvas Intensidad Duración Frecuencia para la ciudad de Concepción y validar la metodología propuesta por Varas y Sánchez (1984). El análisis se hará usando tanto series de valores máximos anuales como series de duración parcial, y considerando los registros pluviográficos de la estación meteorológica Bellavista, correspondientes a un período de 24 años.

En otras palabras, nos propusimos validar el enfoque de Varas y Sánchez (1984) y MOP (2002), pero a la vez, probando con una metodología que estima mejor en el caso de series cortas y eventos más frecuentes (menor T).

Así, los objetivos específicos del trabajo fueron:

- Construir las curvas IDF para la ciudad de Concepción.
- Estimar los coeficientes de frecuencia y duración. Verificar luego la independencia entre estos coeficientes.
- Calcular el parámetro que relaciona la precipitación máxima diaria (entregada por el pluviómetro) y la precipitación máxima en 24 horas (obtenida del pluviograma).
- Comparar los coeficientes de duración y frecuencia obtenidos, con aquellos propuestos por otros autores.
- Cotejar las curvas IDF elaboradas con aquellas obtenidas por otros autores para Concepción.
- Comparar las estimaciones obtenidas a partir de una serie de máximos anuales con las que entrega una serie de duración parcial.

¿Porqué probar con series de duración parcial?

En el diseño de obras hidráulicas pequeñas y medianas, se recomienda usar la serie de duración parcial para diseños con períodos de retorno menores a 10 años (caso de drenaje vial urbano, etc.). Para períodos de retorno mayores, la serie de duración parcial y la serie de máximos anuales tienen similar comportamiento. El Manual de Carreteras (MOP, 2002), indica que es deseable tener como mínimo 20 años de registro para hacer un análisis de frecuencia con series de máximos anuales y aconseja usar series de duración parcial en caso que la longitud del registro sea menor.

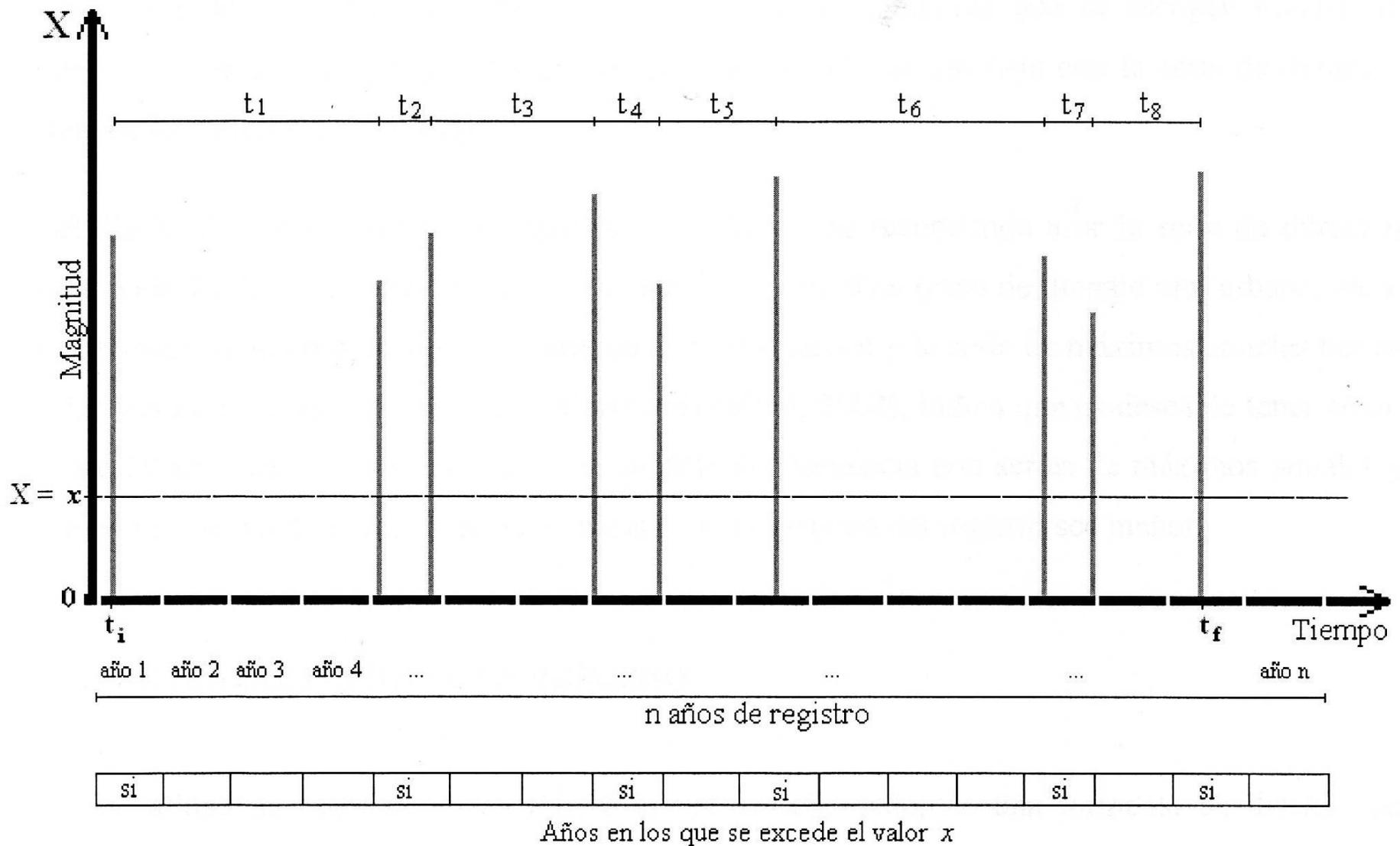
Algunas veces se usa el enfoque de duración parcial, pero con una serie de excedencias anuales, de modo que hayan tantos datos como años. Se pierde así la oportunidad de hacer una mejor descripción probabilística de la variable bajo estudio.

Serie de máximos anuales: Sólo un valor por año, el máximo anual: **T_a**

Serie de duración parcial (POT): Todos los valores por sobre un umbral; usualmente se elige un umbral de modo de tener entre 3 y 5 valores por año, en promedio: **T_p**

Serie de excedencias anuales: Una serie de duración parcial especial, en la que se toman tantos datos como hay años en el registro: **T_p**, pero sólo para períodos de retorno de al menos algunos años

¡Esto redundante en dos significados muy distintos para el concepto de “período de retorno”!



Siempre se define en los libros (y cursos universitarios) de hidrología que **T** es la media o valor esperado del intervalo de recurrencia de un cierto evento, pero luego se enseña y trabaja con **T_a**, que es un concepto distinto.

¡El “período de retorno” de la definición que nos enseñaron en hidrología corresponde realmente a **T_p**!

T_a años	T_p (años)
1.5	0.9
2	1.4
3	2.5
4	3.5
5	4.5
10	9.5
15	14.5
20	19.5
25	24.5
50	49.5
100	99.5

Asumiendo proceso Poisson (probabilidad es la misma en el tiempo), resulta la siguiente relación entre los dos períodos de retorno:

$$T_p = -\frac{1}{\ln\left(1 - \frac{1}{T_a}\right)}$$

Vemos que ocurre convergencia para T altos; esto se debe a que es casi imposible probabilísticamente que ocurran múltiples eventos con alto T en un mismo año.

Datos:

Los datos provinieron de la Estación Bellavista, del ex-Depto. de Física de la Atmósfera y del Océano (hoy de Geofísica) de la Universidad de Concepción. Cuenta con registros pluviográficos desde 1971 hasta 1999, medidos en un pluviógrafo Lambrecht Göttingen, tipo sifón.

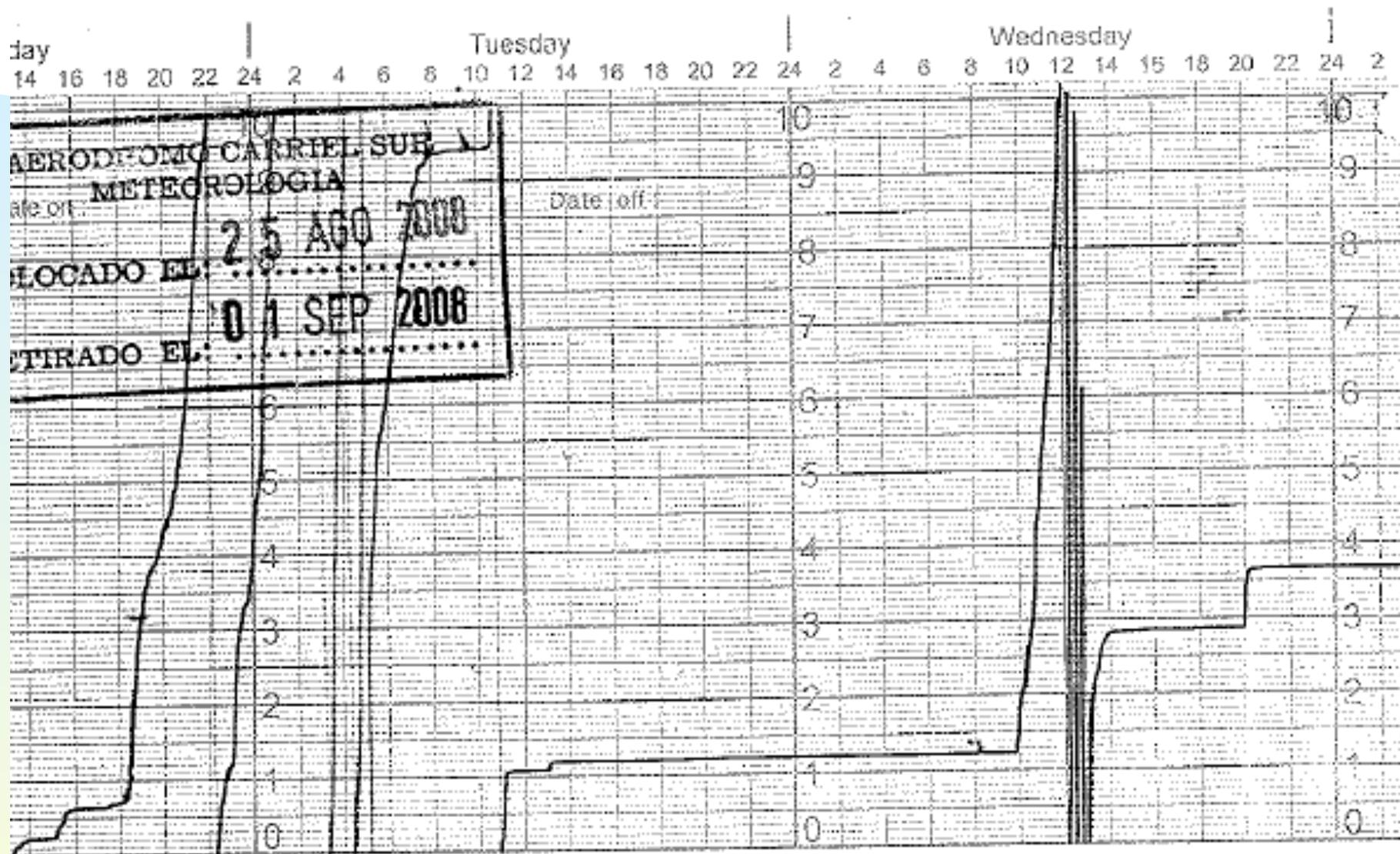
Hay respaldo con pluviómetro convencional, totalizador, medido dos veces al día, a las 8:00 y las 20:00.

Increíble: todos los datos se perdieron, tanto los rollos de papel como los respaldos escaneados.

Una diferencia importante con Carriel Sur (DMC), usada por Varas y Sánchez y LEN, es que acá hay 19 años con pluviogramas diarios (un rollo por día).

Carriel Sur sigue utilizando hasta hoy pluviogramas semanales, lo que no permite discriminar bien las intensidades sobre duraciones cortas. En el ejemplo de la página siguiente, ¿cómo discriminar la hora en que más llueve, los 30 min en que más llueve, etc.? Es simplemente imposible...

A nuestro entender, el problema no se resuelve haciendo zooms... La información **simplemente no está** para las duraciones más cortas (carta 1:250.000 ampliada 10X no tiene info 1:25.000)



Yetograma para un evento extremo en Carriel Sur.

Metodología detallada:

1. Descarte de datos faltantes
2. Independencia entre eventos (12 horas secas)
3. Eventos analizados: todos sobre 10 mm (n=756)
4. Duraciones: 10, 20, 30, 45 minutos
1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 18, 24 horas
5. Agua caída en cada evento, por duración
6. Errores: comparación pluviógrafo-pluviómetro

7. Series de tiempo:

Duración parcial: 4 datos por año, en promedio

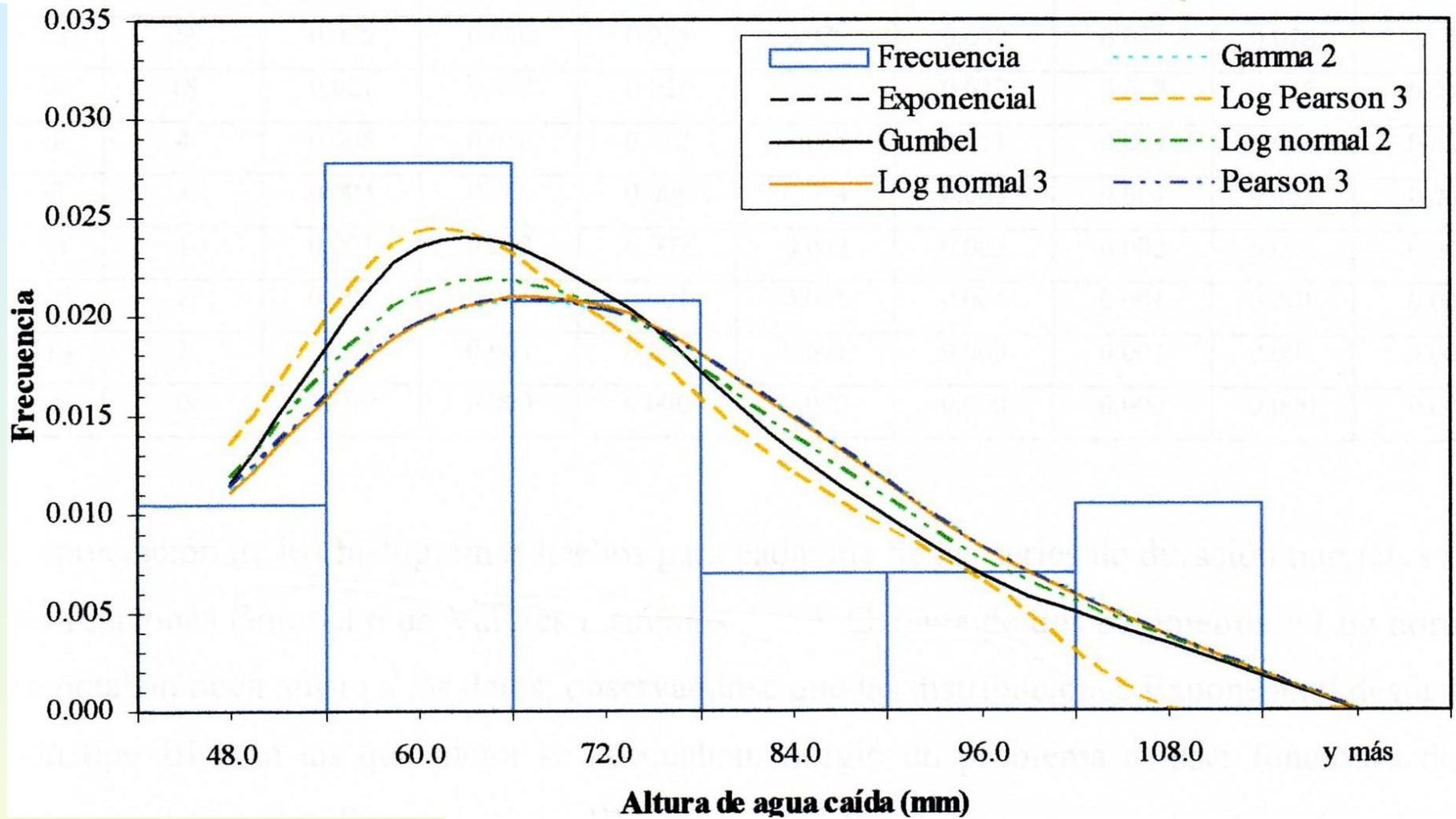
Máximos anuales

8. Análisis de frecuencia:

Máximos anuales: exponencial, Gamma 2, Gumbel, Lognormal 2 y 3, Pearson 3, LogPearson3

Serie de duración de los excesos sobre umbral: exponencial y Gamma 2

9. Bondad: Kolmogorov-Smirnov y Chi-cuadrado



Serie de duración parcial de los excesos sobre el umbral, para una duración de 12 horas

Nº de intervalos de clase para muestra de tamaño $n = 96$: $1 + 3.3 \log(96) = 7.5 \approx 8$

Media
 $\hat{\mu} = 14.15 \text{ mm}$

Desviación estándar
 $\hat{\sigma} = 14.70 \text{ mm}$

Coefficiente asimetría
 $\hat{\gamma} = 1.79$

Parámetros estimados

Gamma 2

$\hat{\lambda} = 15.284$

$\hat{\phi} = 0.925$

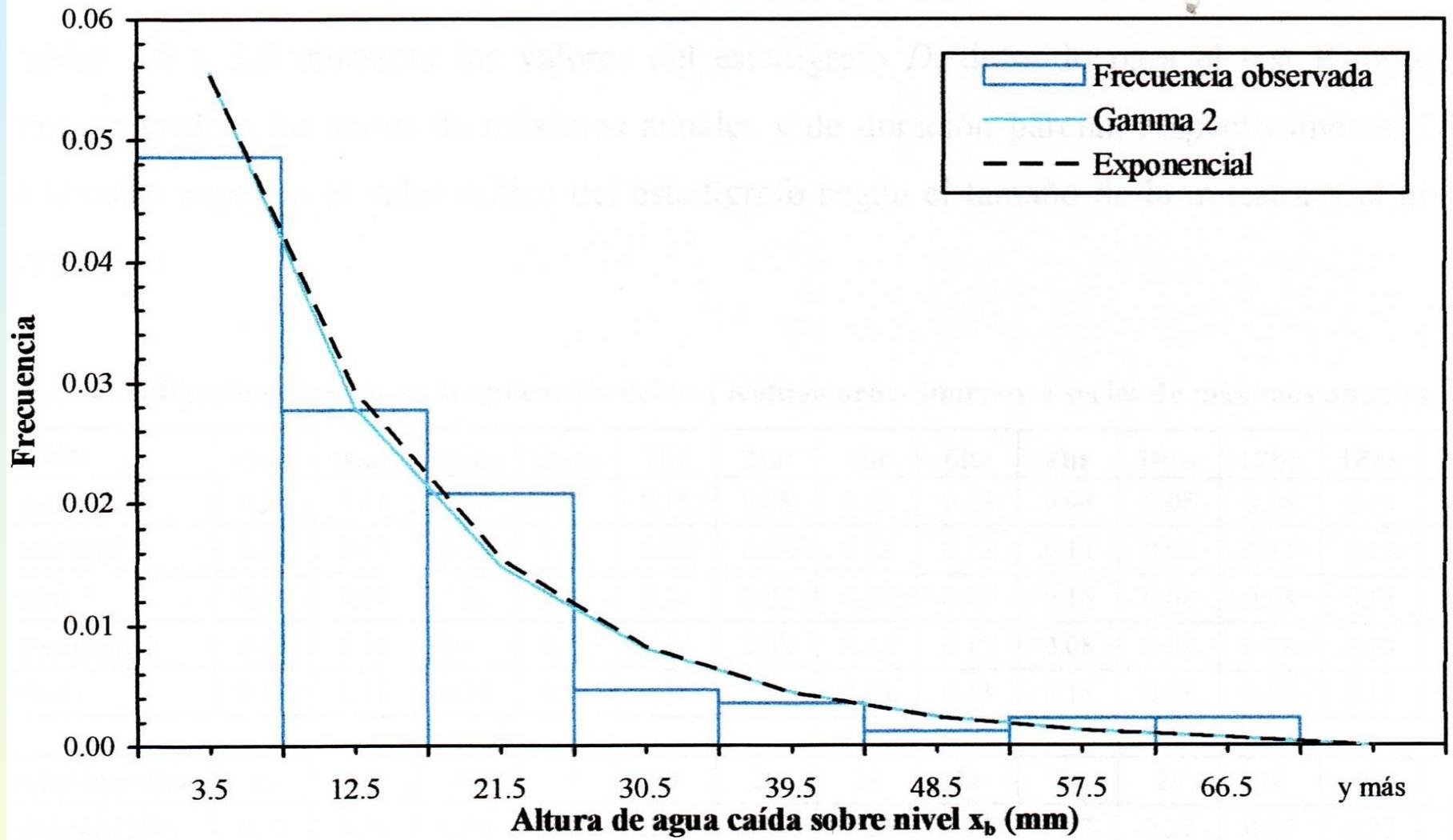
Exponencial

$\hat{\lambda} = 0.071$

-

Frecuencia observada y densidad de probabilidad evaluada en el centro del intervalo

Rango (mm)	Frecuencia observada	Frec. de ancho unitario	Valor medio intervalo	Gamma 2	Exponencial
1 - 8	42	0.049	3.5	0.056	0.055
8 - 17	24	0.028	12.5	0.028	0.029
17 - 26	18	0.021	21.5	0.015	0.015
26 - 35	4	0.005	30.5	0.008	0.008
35 - 44	3	0.003	39.5	0.004	0.004
44 - 53	1	0.001	48.5	0.002	0.002
53 - 62	2	0.002	57.5	0.001	0.001
62 - 71	2	0.002	66.5	0.001	0.001
71 y más	0	0.000	75.5	0.000	0.000



3. Resultados

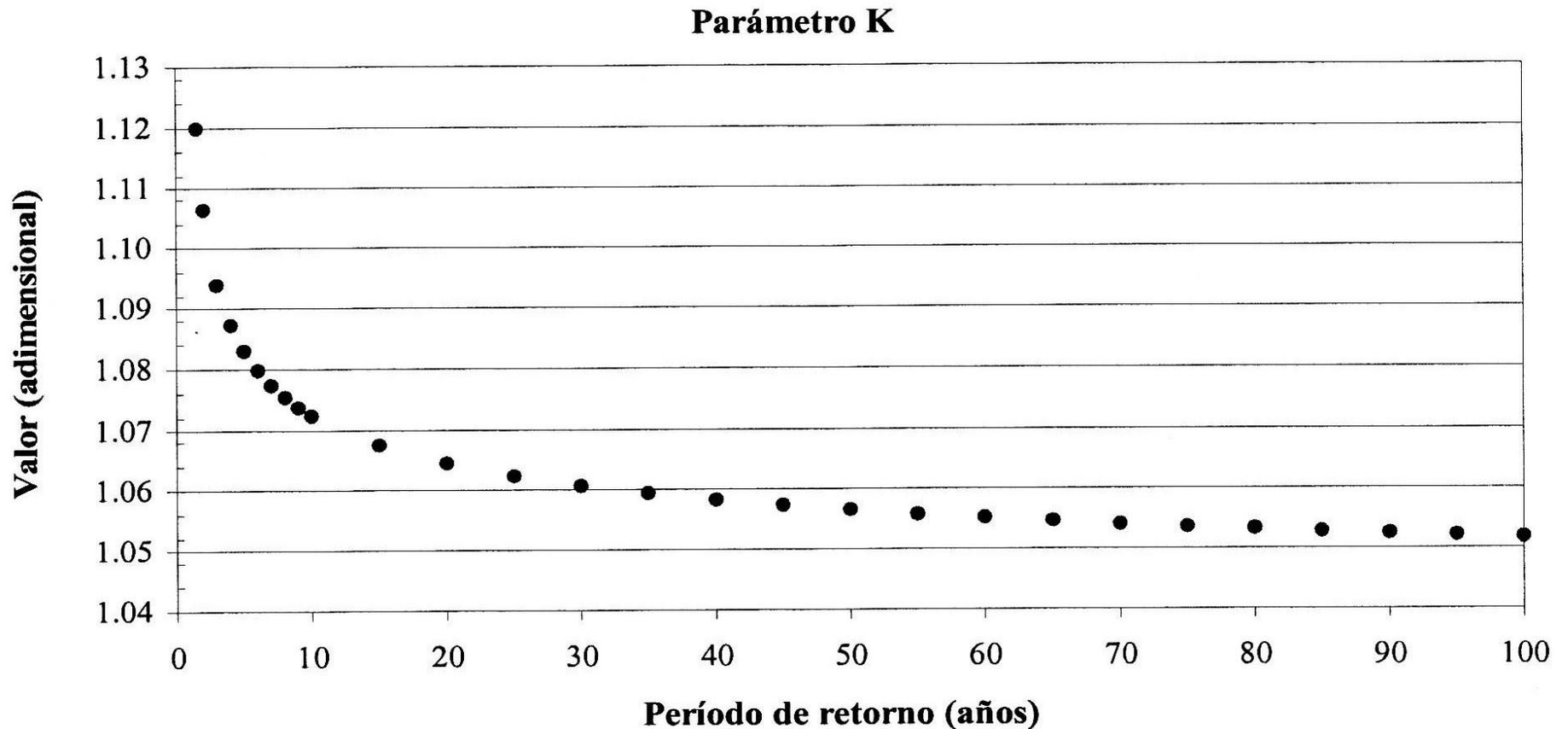
Valores IDF para T_p , duración parcial:

T_p (años)	T_a (años)	10min	20min	30min	45min	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	10hr	12hr	18hr	24hr
0.5	1.2	41.3	30.2	24.6	19.8	16.7	11.7	8.1	6.6	5.6	4.9	4.4	3.3	2.7
1	1.6	50.9	38.0	31.3	24.8	20.8	14.1	9.7	7.8	6.7	5.9	5.2	4.0	3.3
1.5	2.1	56.7	42.6	35.1	27.8	23.2	15.4	10.5	8.5	7.3	6.4	5.7	4.4	3.7
2	2.5	60.8	45.9	37.9	29.9	25.0	16.3	11.2	9.0	7.8	6.8	6.1	4.7	3.9
3	3.5	66.6	50.6	41.8	32.9	27.6	17.6	12.1	9.7	8.5	7.4	6.6	5.1	4.3
4	4.5	70.8	53.9	44.6	35.1	29.5	18.5	12.7	10.3	8.9	7.8	6.9	5.4	4.6
5	5.5	74.0	56.5	46.8	36.7	30.9	19.2	13.2	10.6	9.3	8.1	7.2	5.7	4.8
10	10.5	84.1	64.5	53.5	41.9	35.4	21.4	14.7	11.9	10.5	9.1	8.1	6.4	5.4
15	15.5	90.1	69.3	57.4	44.9	38.0	22.7	15.6	12.6	11.1	9.6	8.6	6.8	5.8
20	20.5	94.3	72.6	60.2	47.0	39.9	23.6	16.2	13.1	11.6	10.0	9.0	7.1	6.1
25	25.5	97.5	75.2	62.3	48.7	41.4	24.3	16.7	13.5	12.0	10.3	9.2	7.3	6.3
50	50.5	107.7	83.3	69.0	53.9	46.0	26.5	18.2	14.7	13.2	11.3	10.1	8.0	6.9
100	100.5	118.0	91.4	75.8	59.1	50.6	28.6	19.7	15.9	14.3	12.3	11.0	8.7	7.6

Valores IDF para T_a , máximos anuales:

T_a años	10min	20min	30min	45min	1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	10hr	12hr	18hr	24hr
1.5	50.2	35.7	29.1	23.9	19.7	12.9	9.1	7.7	6.6	5.8	5.2	3.8	3.3
2	57.1	41.5	34.1	27.6	23.0	14.6	10.3	8.5	7.4	6.4	5.7	4.3	3.7
3	65.2	48.3	40.0	32.0	26.8	16.6	11.6	9.5	8.2	7.2	6.4	5.0	4.2
4	70.4	52.6	43.7	34.8	29.2	17.9	12.4	10.1	8.8	7.7	6.9	5.4	4.6
5	74.2	55.8	46.5	36.9	31.0	18.8	13.1	10.6	9.2	8.0	7.2	5.6	4.8
10	85.5	65.2	54.6	42.9	36.3	21.6	14.9	12.0	10.5	9.1	8.1	6.5	5.5
15	91.9	70.6	59.2	46.4	39.2	23.2	16.0	12.8	11.2	9.7	8.7	7.0	6.0
20	96.4	74.3	62.5	48.8	41.3	24.3	16.7	13.3	11.7	10.1	9.1	7.3	6.2
25	99.8	77.2	64.9	50.7	42.9	25.1	17.3	13.8	12.1	10.4	9.3	7.6	6.5
50	110.4	86.0	72.6	56.4	47.9	27.7	19.0	15.1	13.2	11.4	10.2	8.4	7.2
100	120.9	94.8	80.2	62.0	52.8	30.3	20.7	16.3	14.4	12.3	11.1	9.2	7.8

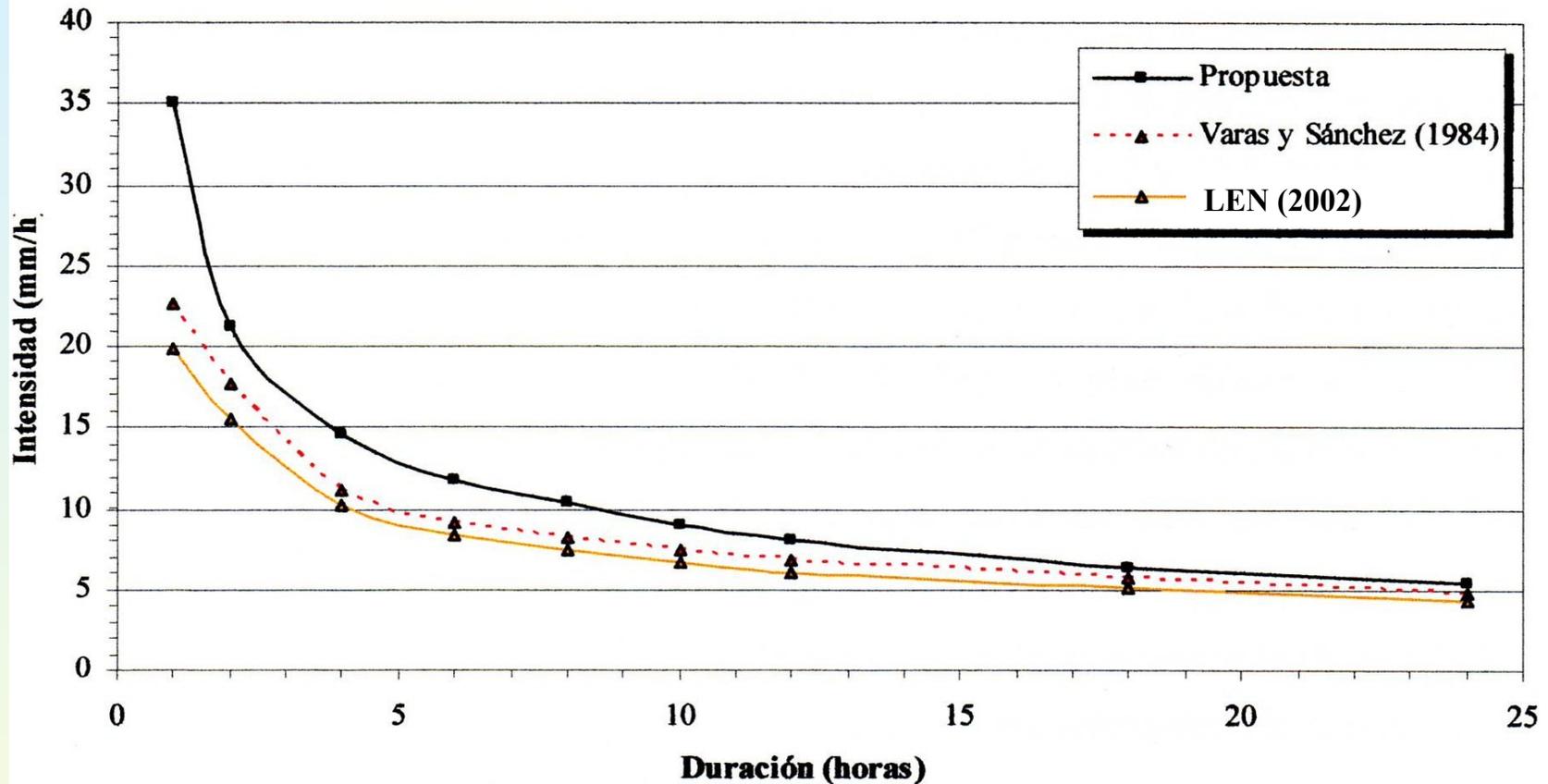
Valores del coeficiente K, para convertir PP máxima sobre día meteorológico en P24:



K = 1.1 es conservador para T > 2 años OK

4. ¿Subestima la metodología actual?

Curvas IDF estimadas para Concepción, T= 10 años



Para 1 hr, el M de C subestima en un 45 %. En los hechos, lo que informa para T=10 años ¡ocurre realmente cada 10 a 11 meses!

El valor de 26.3 mm, dado por el Manual de Carreteras para T = 50 años y duración 1 h, ¡recurre cada 2.5 años según nuestro análisis!

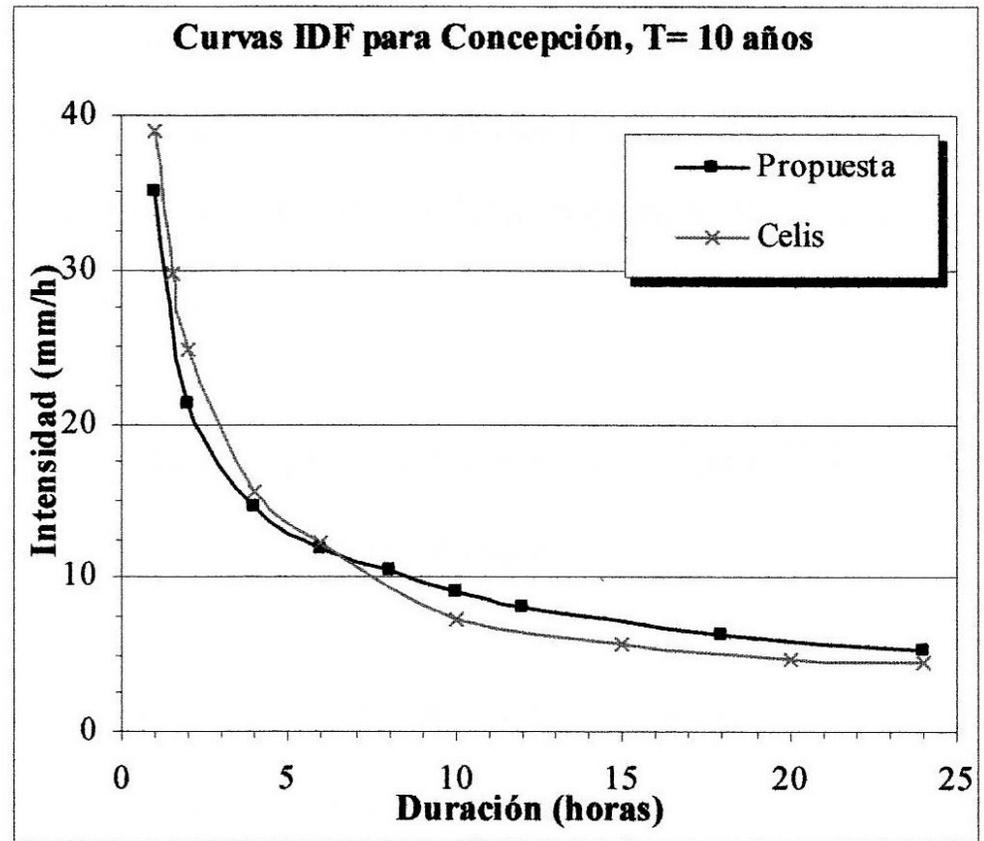
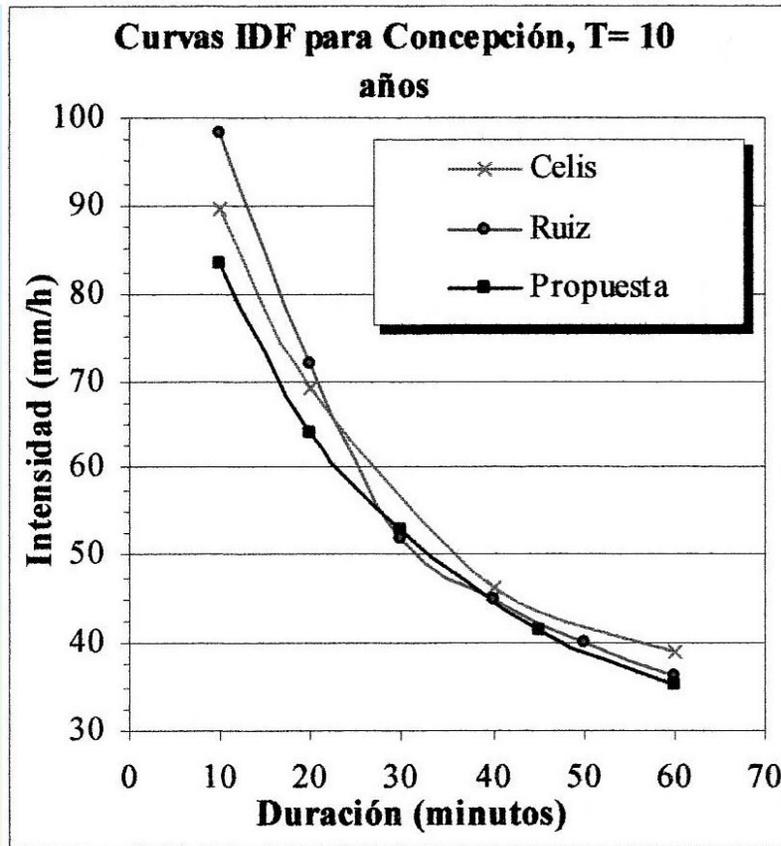
Varas y Sánchez (1984):

T (años)	Intensidad (mm/h)								
	1 (h)	2 (h)	4 (h)	6 (h)	8 (h)	10 (h)	12 (h)	18 (h)	24 (h)
10	22.7	17.7	11.1	9.2	8.2	7.4	6.8	5.7	4.8
25	27.0	20.9	12.6	10.6	9.5	8.6	8.0	6.9	5.8
50	30.2	23.4	13.7	11.5	10.4	9.5	8.9	7.8	6.5
100	33.3	25.8	14.8	12.5	11.3	10.4	9.8	8.7	7.3

LEN (2002):

T (años)	Intensidad (mm/h)								
	1 (h)	2 (h)	4 (h)	6 (h)	8 (h)	10 (h)	12 (h)	18 (h)	24 (h)
10	19.9	15.6	10.3	8.4	7.4	6.7	6.1	5.2	4.3
25	23.6	18.3	11.6	9.5	8.4	7.6	7.0	6.1	5.1
50	26.3	20.3	12.5	10.3	9.2	8.3	7.7	6.8	5.7
100	29.0	22.4	13.5	11.1	9.9	9.0	8.4	7.5	6.3

Comparación con trabajos de Celis y de Ruiz:



Usando datos de Bellavista, con métodos distintos (más parecidos a los de V y S), encuentran valores similares o incluso mayores a los nuestros.

Celis (1984):

T (años)	Intensidad (mm/h)											
	10 min	20 min	40 min	1 hr	1.5 hr	2 hr	4 hr	6 hr	10 hr	15 hr	20 hr	24 hr
5	73.9	58.2	41.0	32.9	25.2	20.9	14.0	10.5	6.6	5.1	4.2	3.9
10	89.7	69.1	46.3	39.0	29.7	24.9	15.5	12.1	7.3	5.7	4.7	4.5
15	98.8	75.4	48.9	42.4	32.2	27.3	16.3	13.1	7.7	6.0	5.0	4.8
20	105.2	79.8	50.7	44.8	34.0	29.0	16.8	13.8	8.0	6.2	5.1	5.0
25	110.2	83.2	51.9	46.7	35.3	30.3	17.2	14.3	8.2	6.3	5.3	5.1
50	125.9	93.7	55.6	52.4	39.5	34.6	18.3	16.0	8.7	6.7	5.6	5.5
100	141.9	104.3	58.8	58.2	43.7	39.0	19.2	17.7	9.3	7.1	5.9	5.8

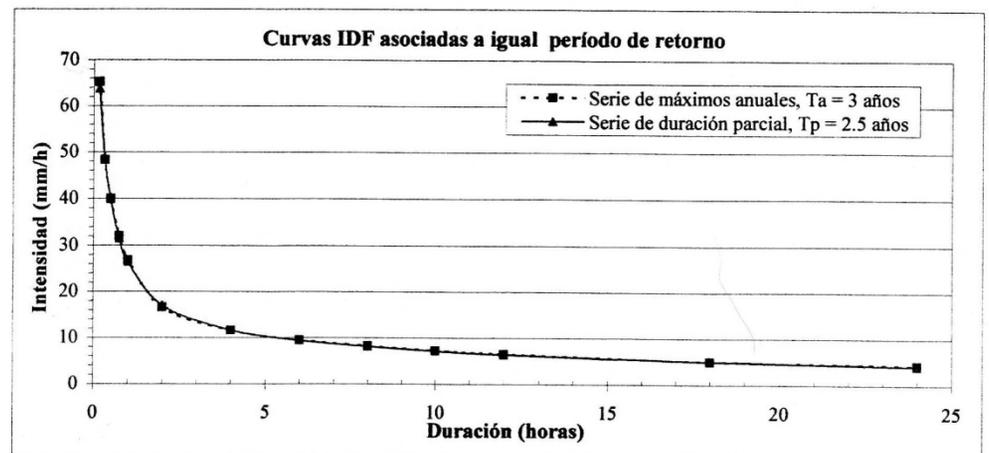
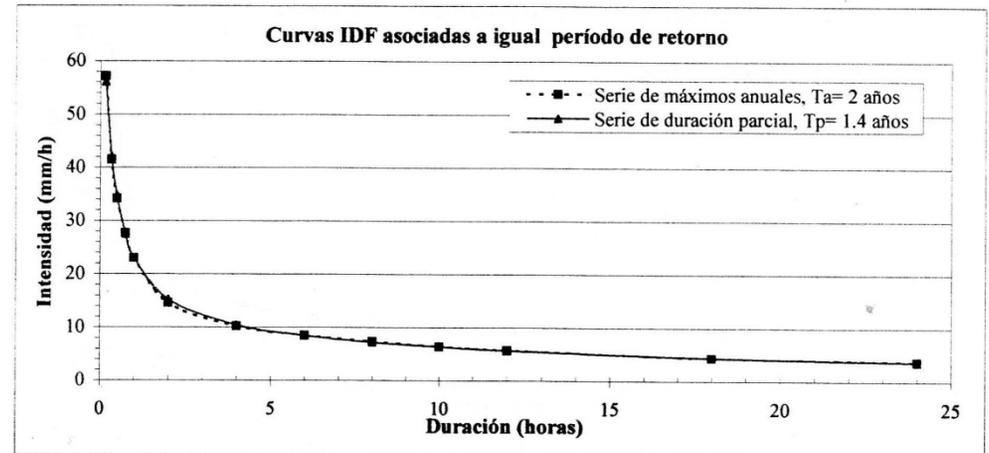
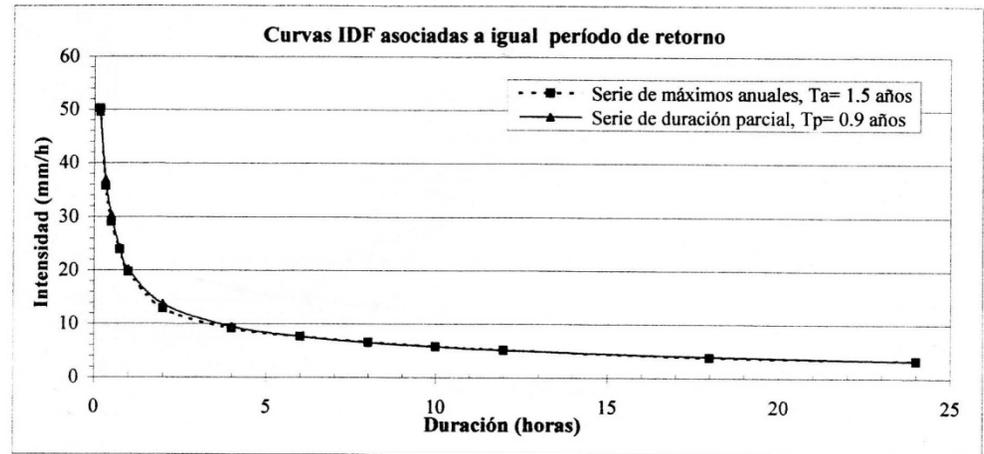
Ruiz (2000):

T (años)	Intensidad (mm/h)					
	10 (min)	20 (min)*	30 (min)	40 (min)*	50 (min)*	60 (min)
2	60.0	44.0	32.0	27.0	24.0	21.0
5	81.0	60.0	44.0	38.0	34.0	30.0
10	98.4	72.0	52.0	45.0	40.0	36.2
25	115.2	86.0	62.0	53.0	49.0	44.0
50	132.0	97.0	70.0	60.0	56.5	51.0
100	144.0	105.8	77.0	68.0	62.7	58.0

Ruiz (2000) interpoló de las curvas IDF para 10, 30 y 60 minutos los valores de intensidad para 20 y 40 y 50 minutos

Comparación entre duración parcial y máximos anuales, para igual T (Poisson):

Este resultado, más la comparación con Celis y Ruiz \rightarrow no es el hecho de usar duración parcial vs máximos anuales, o bien otra pdf que causa la fuerte subestimación



5. ¿Cuál es el problema y su causa?

Estamos planteando que, al diseñar una obra en Concepción para **1 hora** y **T = 50 años**, con los métodos recomendados en la actualidad, en los hechos, estaría fallando cada **2.5 años**, ¡una frecuencia de falla **20 veces mayor!**



La subestimación se transmite íntegramente a los caudales, puesto que casi siempre se usa la fórmula racional, donde la intensidad tiene un exponente de 1:

$$Q_T = C_T i_T A$$

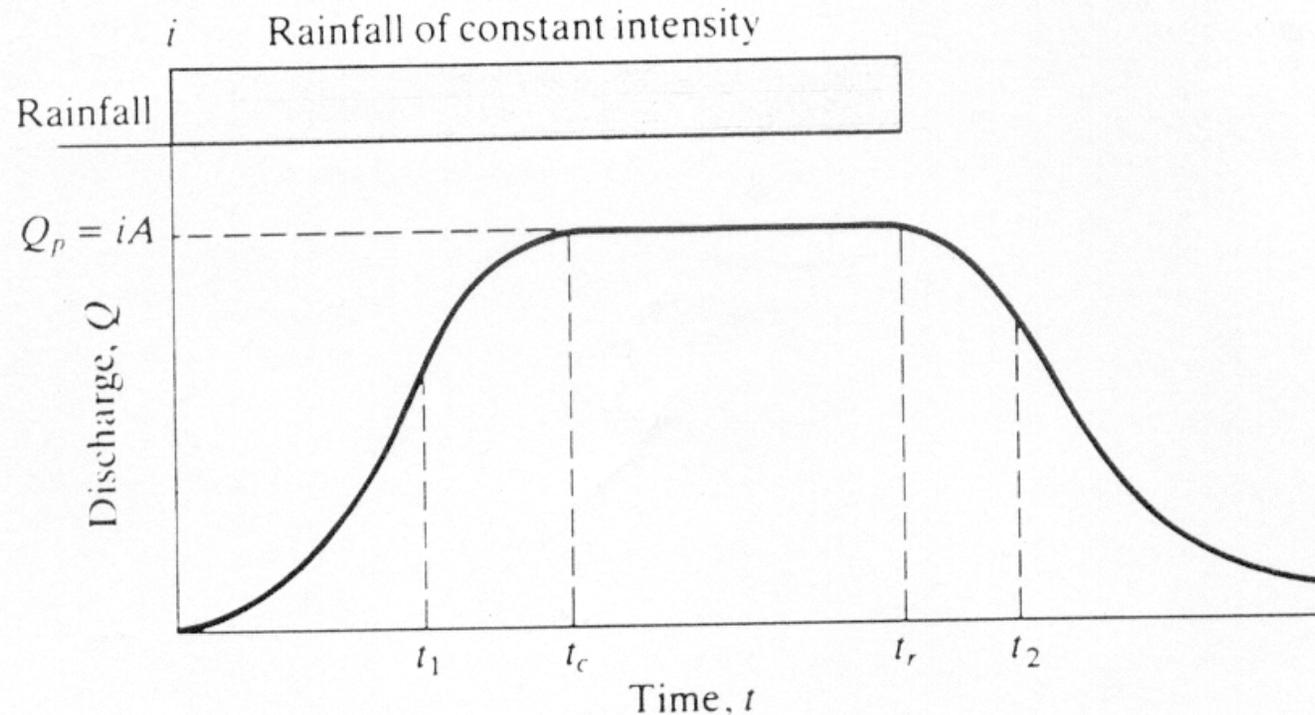


FIGURE 9.10 Hydrograph corresponding to a long storm.

También se subestimará las intensidades para duraciones menores a 1 hr, puesto que por falta de datos, se usa ésta última para normalizar, aplicando luego coeficientes de duración (tipo Bell-Espíldora).

¿A qué se debe esta fuerte subestimación?

Vimos que el problema no radica en usar series de duración parcial versus máximos anuales (dos líneas de evidencia). Como indica la teoría, este efecto se hace sentir sólo para períodos de retorno menores. Tampoco se debe a la distribución usada para el análisis de frecuencia.

¿Podría plantearse que ya sea Bellavista sobreestima o bien Carriel Sur subestima?

Las estaciones sólo distan 2.9 km, y la única evidencia disponible (no es la ideal) no apoya esta idea:

Medidas pluviométricas diarias (mm)				
Año	Bellavista	Fecha	Carriel Sur	Fecha
1975	78,2	02-Jul	65,7	02-Jul
1976	43,6	14-Oct	42,8	14-Oct
1977	66,5	05-Oct	61,6	20-Jul
1978	115,7	17-Jul	101,2	17-Jul
1979	82,1	29-Ago	64,1	25-Jul
1980	75,3	26-Jun	58,5	12-May
1981	115,2	06-May	92,8	06-May
1982	60	28-Jun	63	28-Jun
1983	82,4	16-Jun	66,8	16-Jun
1984	94,9	02-May	91	02-May
1985	58,4	01-Jul	45,7	01-Jul
1986	148,9	25-Nov	161	25-Nov
1987	77	10-Jul	85,7	10-Jul
1988	109,8	27-Jul	124,4	27-Jul
1989	97,7	06-Jun	89,6	06-Jun
1990	74	28-Mar	94,6	28-Mar
1991	76,4	24-Dic	77,8	24-Dic
1992	100,1	03-May	104,4	03-May
1993	66,6	18-Jul	57,6	18-Jul
1994	66,4	17-Sep	62,8	17-Sep
1995	62,2	27-Abr	64,7	04-Jul
1996	61	22-Ago	64,6	23-Ago
1997	171,7	22-Abr	148,7	22-Abr
1998	44,1	27-May	32,8	16-Jun
Media	84,51		80,1	
D. Estándar	30,79		31,4	

¿Qué posibilidades quedan? Tendría que deberse a problemas metodológicos:

1. Resolución de pluviogramas semanales (dudoso)
2. Uso de horas reloj (la mejor candidata): dada la baja resolución de pluviogramas, V-S y LEN discretizaron cada 1 h antes de analizar valores extremos (help!)
3. Uso de sólo “las 4 ó 5 tormentas más intensas” (¿?) por año (segunda mejor):

Como esta metodología se aplicó a todo Chile, propongo como primera aproximación que estamos subestimando los valores IDF en igual proporción.
Solución temporaria: corregir usando CCP como base.

Es necesario llevar a cabo un proyecto en que se colecten datos de intensidad precisos, en todo Chile, a la escala temporal adecuada (1 min), de modo de:

- i. Verificar, y corregir si necesario, los valores IDF existentes, sobre todo para duraciones más cortas
- ii. Conocer también los valores IDF para T bajos
- iii. Conocer los valores IDF para $d \sim 1$ a 60 min

¿Alguien interesado en apoyar esta investigación?

¿Datos pluviográficos detallados para memorista?

¡MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN!

¿PREGUNTAS?