

DISTRIBUCIÓN SINTÉTICA DE LLUVIAS INTENSAS EN EL ÁREA SERRANA DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA, ARGENTINA

Clarita María Dasso y Gabriel Caamaño Nelli

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas- Universidad Nacional de Córdoba
Centro de la Región Semiárida (CIRSA) - Instituto Nacional del Agua (INA)

Ambrosio Olmos 1142 – X5000JGT, Córdoba, Argentina. E-mail: cdasso@efn.uncor.edu

RESUMEN

Para predicción hidrológica resulta de interés modelar la distribución temporal interna (hietograma tipo) de eventos críticos de lluvia, por su incidencia en la forma de la consecuente crecida de proyecto. Un procedimiento habitual es sintetizar esa distribución a partir de tormentas intensas (pese a que para definir las se deba fijar límites de lámina, intensidad media y separación entre eventos) y luego, con ese patrón sintético repartir la lámina extraída de la función intensidad-duración-recurrencia (i-d-T). Sin embargo, esta función provee una intensidad media, característica para un intervalo de lluvia máxima anual (IMA), de duración d prefijada, el cual difícilmente coincida con la duración de una tormenta intensa. De manera que distribuir internamente las lluvias de cada IMA, proporcionará hietogramas que serán más consistentes, conceptual y temporalmente, con las láminas derivadas de las curvas i-d-T y reflejarán mejor los patrones históricos. Para diseño hidrológico el territorio cordobés fue dividido en siete zonas en torno a sendas estaciones pluviográficas suministradoras de la información. Una de ellas, la Zona Sierras, la de mayor potencial hidrológico en la región, tiene como puesto base a La Estación La Suela, con 22 años de registros continuos procesados cada 5 minutos. En este trabajo se sintetizan distribuciones temporales interna de lluvias máximas anuales y de tormentas intensas de distintas duraciones en la Estación La Suela. Para la síntesis se utilizan los métodos de la mediana de la distribución empírica (Huff) y el del ordenamiento de intervalos (Pilgrim). La muestra comprende un total de 176 distribuciones internas de IMA y 118 de tormentas intensas de distintas duraciones. Las duraciones elegidas corresponden al rango de mayor interés regional. Se comparan las dos técnicas entre sí para los patrones de IMA, y se contrastan luego con los de tormentas intensas. Los resultados demuestran la importancia práctica de trabajar con uno y otro tipo de eventos severos, además de las diferentes características introducidas en la distribución, por el procedimiento de síntesis.

PALABRAS CLAVES: *hietograma tipo, tormentas intensas, lluvias de diseño*

INTRODUCCIÓN

Para diseño y predicción hidrológica se requiere estimar los caudales de proyecto, requisito generalmente limitado por la insuficiencia estadística de registros hidrométricos, lo cual lleva a estimarlos indirectamente a través de modelos lluvia-escorrimento, alimentados por eventos hipotéticos críticos: las lluvias de diseño (Caamaño Nelli y Dasso, 2003). Para esos eventos críticos de lluvia, resulta de interés modelar la distribución temporal interna (hietograma tipo) por su incidencia en la forma del hidrograma de proyecto, ya que de éste, no sólo interesa conocer su máximo sino también su volumen y su permanencia.

Generar una distribución temporal sintética de lluvia, a partir de curvas intensidad-duración-recurrencia (i-d-T), extrayendo láminas de intensidad media para la recurrencia adoptada, con sucesivos incrementos de tiempo hasta alcanzar la duración prefijada, produce un patrón con el máximo al inicio e intensidades decrecientes que, en general, no refleja la distribución real. Reordenar los intervalos de una forma sencilla como lo hace el *método de los bloques alternos* (Chow, 1994) o utilizar el *método de la intensidad instantánea* de Chicago (Keifer y Chu, 1957; McPherson, 1958) tampoco conducen a una distribución que preserve las características históricas de una tormenta, debido a que están forzados a formas predefinidas.

Analizando hietogramas observados es factible sintetizar la variación temporal de tormentas históricas intensas. Huff (1967) estima las distribuciones empíricas de frecuencia para porcentajes acumulados de precipitación en un conjunto de tormentas severas en Illinois (EEUU), encontrando patrones para cuatro grupos de probabilidades (cuartiles). Otra técnica, como la propuesta por Pilgrim y Cordery (1975) sintetiza patrones típicos ordenando los intervalos de tiempo de una tormenta en base a la altura de lluvia que ocurre en cada uno de ellos y luego sumándolos. Esta metodología es la utilizada en Australia para diseño hidrológico. Yen y Chow (1980) sintetizan hietogramas triangulares de tormentas intensas registradas en cuatro localidades de los Estados Unidos de Norteamérica introduciendo el concepto de coeficiente de avance en la tormenta, para ubicar el máximo de intensidad. El Soil Conservation Service del U.S. Department of Agriculture (1986) por su parte, desarrolló hietogramas sintéticos con base en registros históricos, de 6 y 24 hs de duración, para ser utilizados en diferentes regiones del país del norte.

Un procedimiento habitual es sintetizar esa distribución a partir de tormentas intensas (pese a que para definir las se deba fijar límites de lámina, intensidad media y separación entre eventos) y luego, con ese patrón sintético repartir la lámina extraída de la función intensidad-duración-recurrencia (i-d-T). Sin embargo, esta función provee una intensidad media, característica para un intervalo de lluvia máxima anual (IMA), de duración d prefijada, el cual difícilmente coincida con la duración de una tormenta intensa.

Esa incompatibilidad, ya advertida por Pilgrim y Cordery (1975), fue analizada por Camaño, García y Dasso (1999) quienes señalaron que el evento histórico a distribuir internamente debe ser el intervalo de IMA, ya que el mismo proporciona hietogramas más consistentes, conceptual y temporalmente, con las láminas extraídas de las curvas i-d-T y reflejan mejor los patrones históricos, propiedad que no siempre presentan los que se derivan de la función i-d-T.

En este trabajo se sintetizan con diferentes técnicas, distribuciones temporales interna de lluvias máximas anuales y de tormentas intensas de distintas duraciones en la estación La Suela, con el objeto de comparar los entre sí y de analizar las características introducidas en la distribución por el método de síntesis y el tipo de evento histórico considerado.

ZONA DE ENSAYO Y ESTACIÓN PLUVIOGRÁFICA BASE

Para el estudio de lluvias de diseño, el territorio de la Provincia de Córdoba con una superficie de 165.321 km² (que representa el 4,4% de la superficie de Argentina) fue dividido en siete zonas (Caamaño y Dasso,2003) en torno a sendas *estaciones base pluviográficas* representativas de una red de 141 *estaciones satélites pluviométricas*. La Figura 1 muestra esta zonalización y la red con Lluvias de Diseño en el territorio de la Provincia de Córdoba.

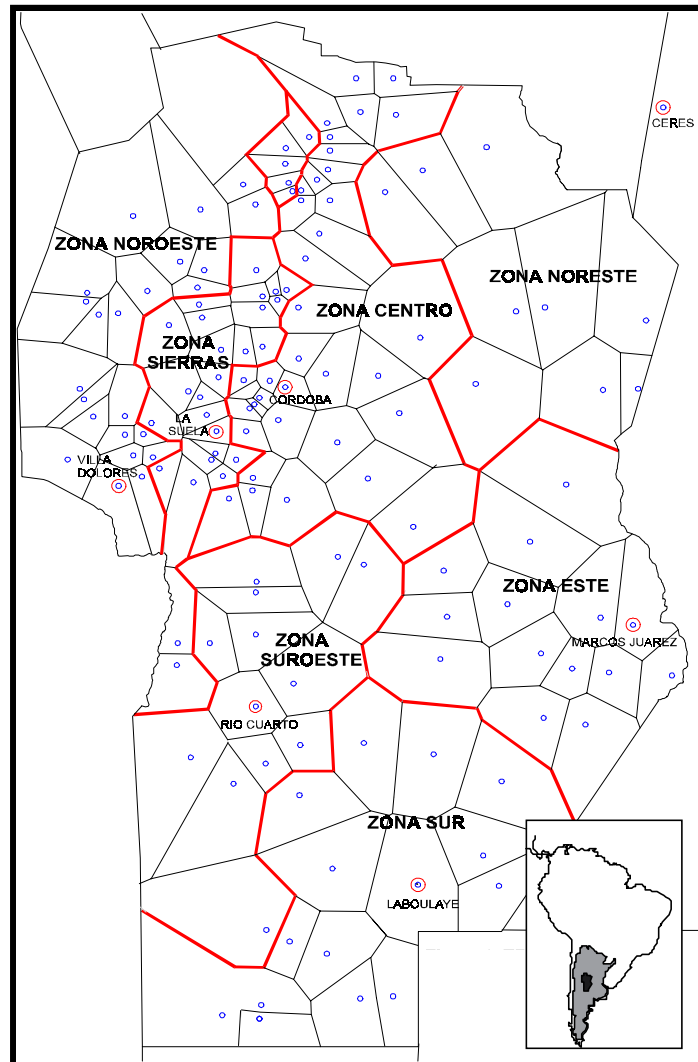


Figura 1. Zonalización y red con Lluvias de Diseño en la Provincia de Córdoba

Una de ellas, la Zona Sierras, comprende fisiográficamente a los principales cordones orográficos (con orientaciones dominantes norte-sur) de las Sierras Pampeanas de Córdoba, cuyo antiguo macizo de las Cumbres de Achala alcanza altitudes medias de 2300 metros snm.

En esta extensa región montañosa, tienen nacientes cuencas de alto potencial hidrológico, generadoras de importantes crecientes provocadas por lluvias intensas de gran magnitud. En la última década, más de una decena de eventos severos de este tipo afectaron a los principales centros turísticos de la zona, provocando pérdidas de vidas humanas y daños materiales (Barbeito et. al., 2000).

La Zona Sierras, tiene como estación base a la estación La Suela (operada por CIRSA-INA) ubicada geográficamente a los 31° 38' Sur y 64° 35' Oeste y situada a una altitud de 892 m snm. Para el período analizado en este estudio, comprendido entre los años 1972-1994, presenta una precipitación media anual de 914 mm y una serie de 22 años de registros pluviográficos continuos procesados cada 5 minutos.

La estación La Suela, es representativa de una red de 31 estaciones pluviométricas satélites, que incluye a los principales centros urbanos turísticos de la región serrana, con estimación de lluvias de diseño para infraestructura y planificación territorial, cubriendo en total una superficie de 12.103 km².

NATURALEZA DE LAS MUESTRAS

Dado que lo que se pretende comparar son distribuciones temporales interna de lluvias intensas sintetizadas a partir de dos tipos de eventos severos críticos diferentes, los Intervalos de Máxima Intensidad Anual (IMA) y las Tormentas Intensas (TI), conviene describir, como primer medida, la naturaleza de cada uno de ellos.

Los intervalos de máxima anual, se definen como el valor máximo anual de lluvia acumulada en una duración dada. Se requiere de registros de lluvia discretizados con alta frecuencia temporal (1 a 5 minutos), los cuales al ser barridos en forma continua y a un paso de tiempo de duración d prefijada, permite acumular la lámina precipitada en ese intervalo de tiempo. Seleccionando los valores máximos acumulados en un año para cada duración, se puede confeccionar para la longitud total de los registros, las series de máximos anuales observados de una duración dada. El análisis de frecuencia de estas series son las que permiten luego estimar las curvas i-d-T.

Caracterizar tormentas intensas en cambio, requiere fijar criterios mínimos de tiempo sin lluvia para suponerla un evento independiente, de altura de lámina que justifique incluirla en el análisis y, de una determinada tasa de intensidad media para considerarla intensa. De hecho, los criterios a adoptar dependen de las características hidrometeorológicas y fisiográficas de la región de aplicación, ya que el interés último está puesto en la posibilidad que tengan las tormentas en producir crecidas extremas.

De los registros pluviográficos de la estación La Suela, se determinaron para el análisis, ambos tipos de eventos severos. Para la identificación de los IMA se adoptaron duraciones de 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 240, 360, 720 y 1440 minutos que cubren el rango de mayor interés regional. Se obtuvieron así 11 series de máximos anuales de distintas duraciones con 22 años de longitud, con tantos eventos como años de registro tiene cada serie, o sea en total, una muestra de 242 intervalos de máxima intensidad anual.

Para la determinación de las tormentas intensas en cambio, se debieron fijar criterios y valores mínimos a efectos de considerarlas intensas. En este caso fueron los mismos que se definieron para el tratamiento de tormentas intensas a nivel provincial o sea: a) condición mínima de intensidad media: 0,1 mm/min; b) lámina mínima precipitada: 20 mm; y c) tiempo de separación entre eventos: 2 horas sin lluvia.

El procesamiento de los registros se llevó a cabo con un programa computacional para tal fin, escrito en lenguaje Pascal (Tormentas.pas) el cual realiza la aplicación de las condiciones fijadas y la selección de los eventos que satisfacen dichos requerimientos. En total se identificaron 118 tormentas intensas. Como la distribución de la intensidad depende de la duración, las tormentas se agruparon en 5 categorías: $d \leq 1$ hora; $1 \text{ hora} < d \leq 2$ horas; $2 \text{ horas} < d \leq 3$ horas; $3 \text{ horas} < d \leq 6$ horas y $d > 6$ horas.

La Tabla 1 muestra las principales características de ambos tipos de eventos registrados en la Estación La Suela.

Tabla 1. Características de Tormentas Intensas y de IMA en La Suela

Lluvias máximas anuales para distintas duraciones en La Suela												
Duración (min)	5	10	15	30	60	90	120	180	360	720	1440	
P máx (mm)	14,3	24,1	31,2	49,5	75,1	103,2	131,3	159,5	197,8	198,6	198,6	
P med (mm)	8,5	14,6	19,9	30,8	40,8	46,1	50,6	59,3	77,3	101,5	135,2	
P mín (mm)	4,5	8,0	9,7	13,2	14,9	20,0	22,3	23,6	23,6	33,2	11,7	
Tormentas Intensas en La Suela												
categorías	d ≤ 1h		1h < d ≤ 2 h		2h < d ≤ 3 h		3h < d ≤ 6 h		d > 6 h		Total	
Cantidad	21		20		21		37		19		118	
(%)	17,8		16,9		17,8		31,3		16,1		100	
Tormenta de mayor lámina						Tormenta de mayor duración						
Fecha:	9 de enero de 1984						30 de marzo de 1980					
Precipitación:	198 mm						107,4 mm					
Duración:	340 min						1105 min					
Intensidad media:	35 mm/h						6 mm/h					

SÍNTESIS DE LOS INTERIORES DE IMA Y DE TORMENTAS

Las alternativas mejor fundadas para encontrar las distribuciones temporales internas (hietogramas tipo) a partir de series históricas son, el Método de Ordenamiento de Intervalos (Pilgrim et. al, 1969 y Pilgrim y Cordery 1975) y el Método de la Distribución Acumulada (Huff, 1967, 1970). Ambos parten de desagregar los eventos en un número fijo de percentiles (en este caso se utilizaron sextiles) y luego calcular el porcentaje de lámina en cada uno, asignando el máximo de la distribución al de mayor porcentaje acumulado.

El método de Pilgrim establece un orden según dicho porcentaje (dando valor 1 al máximo, 2 al 2do en magnitud y así sucesivamente) en cada evento en particular, promediándose luego los valores asignados a cada intervalo sobre el total de tormentas. El pico de la distribución se asigna a la posición de menor promedio, la segunda magnitud al segundo creciendo, y así sucesivamente.

La Tabla 2 ejemplifica esta técnica para la síntesis de un hietograma tipo de la serie de 22 años en La Suela a partir de las distribuciones internas de los IMA de 120 minutos.

La técnica desarrollada por Huff parte de los eventos desagregados y arriba a distribuciones empíricas de frecuencia acumulada para porcentajes de lámina. Para este método se elaboraron curvas adimensionalizadas (% de lámina acumulada versus % de tiempo) y para cada conjunto de éstas (una duración de IMA o un rango de duración de tormentas intensas) se obtuvo la función empírica de frecuencia acumulada para distintas probabilidades de no excedencia, utilizando luego la del 50% de probabilidad de no excedencia. La Figura 2 muestra dichas distribuciones acumuladas, en ambos métodos, para el caso particular de las tormentas intensas de $d \leq 1$ hora; $1 \text{ hora} < d \leq 2$ horas; $2 \text{ horas} < d \leq 3$ horas y $d > 6$ horas.

Por último los hietogramas tipo finales se expresaron en distribuciones porcentuales discretizadas por sextiles, a fin de ser utilizados en el análisis comparativo. Para el caso de los IMA de duraciones breves (5 a 15 minutos) esta operación lleva a repetir láminas de igual porcentaje en cada bloque, causando pérdida de precisión, de manera que fueron excluidos para el análisis.

Tabla 2. Método de Pilgrim para IMA de 120 minutos en La Suela

IMA de 120 minutos													
Año		Orden de cada sextil						% de lámina decreciente					
Hidroológico		1s	2s	3s	4s	5s	6s	Máx	2do	3ro	4to	5to	6to
72	73	3	1	2	4	5	6	55,4%	19,9%	12,4%	10,1%	1,2%	0,9%
73	74	4	6	5	3	1	2	57,6%	20,9%	14,4%	3,5%	1,9%	1,7%
74	75	1	2	5	6	3	4	42,0%	42,0%	5,9%	5,9%	2,1%	2,1%
75	76	1	2	3	4	5	6	48,7%	48,7%	1,8%	0,9%	0,0%	0,0%
76	77	2	1	3	4	5	6	54,9%	22,9%	8,3%	8,3%	5,0%	0,6%
77	78	1	2	3	4	6	5	31,4%	31,4%	20,2%	9,6%	4,0%	3,4%
78	79	4	6	5	3	1	2	43,2%	41,1%	8,1%	3,6%	3,2%	0,7%
79	80	4	1	2	3	6	5	31,0%	24,2%	13,8%	12,7%	10,0%	8,2%
80	81	6	1	3	2	5	4	23,1%	22,1%	15,4%	14,8%	12,3%	12,3%
81	82	5	2	4	1	3	6	33,3%	19,5%	16,5%	14,0%	10,6%	6,1%
82	83	2	1	3	5	4	6	40,9%	34,4%	9,3%	6,1%	5,2%	4,0%
83	84	5	6	3	4	1	2	21,5%	21,5%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%
84	85	1	2	4	5	6	3	53,9%	29,0%	4,7%	4,1%	4,1%	4,1%
85	86	5	2	1	3	4	6	37,8%	19,9%	15,2%	13,9%	8,4%	4,7%
86	87	3	4	1	2	5	6	37,6%	37,6%	12,4%	12,4%	0,0%	0,0%
87	88	3	2	1	4	5	6	54,1%	45,3%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%
88	89	2	1	5	4	3	6	44,3%	34,6%	17,6%	2,3%	1,1%	0,1%
89	90	5	6	1	3	2	4	29,1%	23,5%	20,7%	11,3%	9,5%	5,9%
90	91	5	1	2	3	4	6	40,6%	37,4%	7,9%	7,4%	4,0%	2,7%
92	93	6	3	2	1	4	5	39,9%	36,9%	8,8%	8,1%	3,7%	2,6%
93	94	1	2	3	6	5	4	34,7%	31,2%	13,6%	8,1%	7,7%	4,6%
94	95	1	2	3	4	5	6	88,5%	9,6%	1,9%	0,0%	0,0%	0,0%
Media		3,2	2,5	2,9	3,5	4,0	4,8	% de lámina media decreciente					
orden		3	1	2	4	5	6	42,9%	29,7%	11,1%	7,8%	4,9%	3,6%
Hietograma Tipo de Pilgrim													
Sextil N°													
		1s	2s	3s	4s	5s	6s						
		11,1	42,9	29,7	7,8	4,9	3,6						

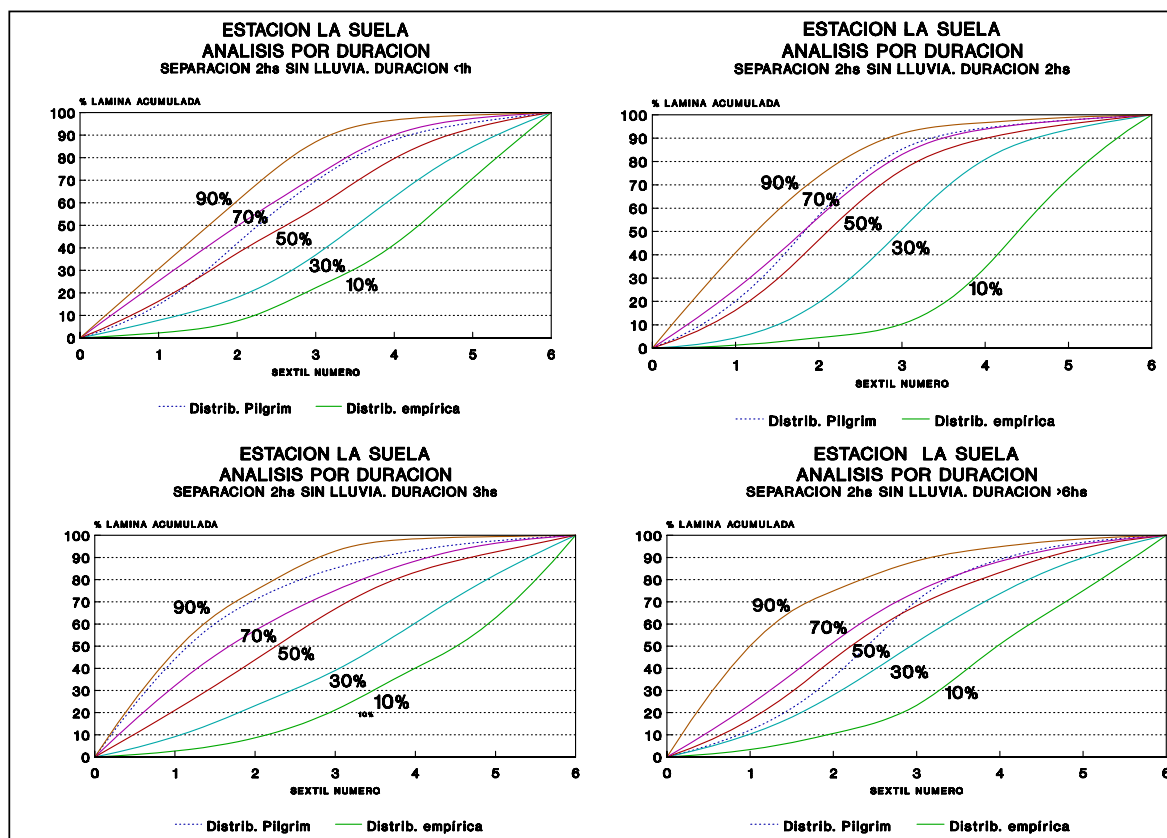


Figura 2. Hietogramas Tipo acumulados para Tormentas Intensas de distintas duraciones en La Suela

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de los resultados estuvo orientado a dos aspectos diferentes a) comparar las técnicas de síntesis entre sí, en los hietogramas de IMA y b) contrastar luego esas distribuciones con las sintetizadas a partir de tormentas intensas.

Comparación entre hietogramas de IMA

La Figura 3 exhibe los hietogramas tipo de IMA para duraciones entre 30 y 1440 minutos sintetizados en la Suela, con el método de la mediana de la distribución empírica (técnica de Huff) y por el método del ordenamiento de intervalos (técnica de Pilgrim), expresados en sextiles. Cada bloque de las ocho series dura 1/6 de la duración, es decir, 5 a 240 minutos desde el IMA de 30 al de 1440 minutos respectivamente.

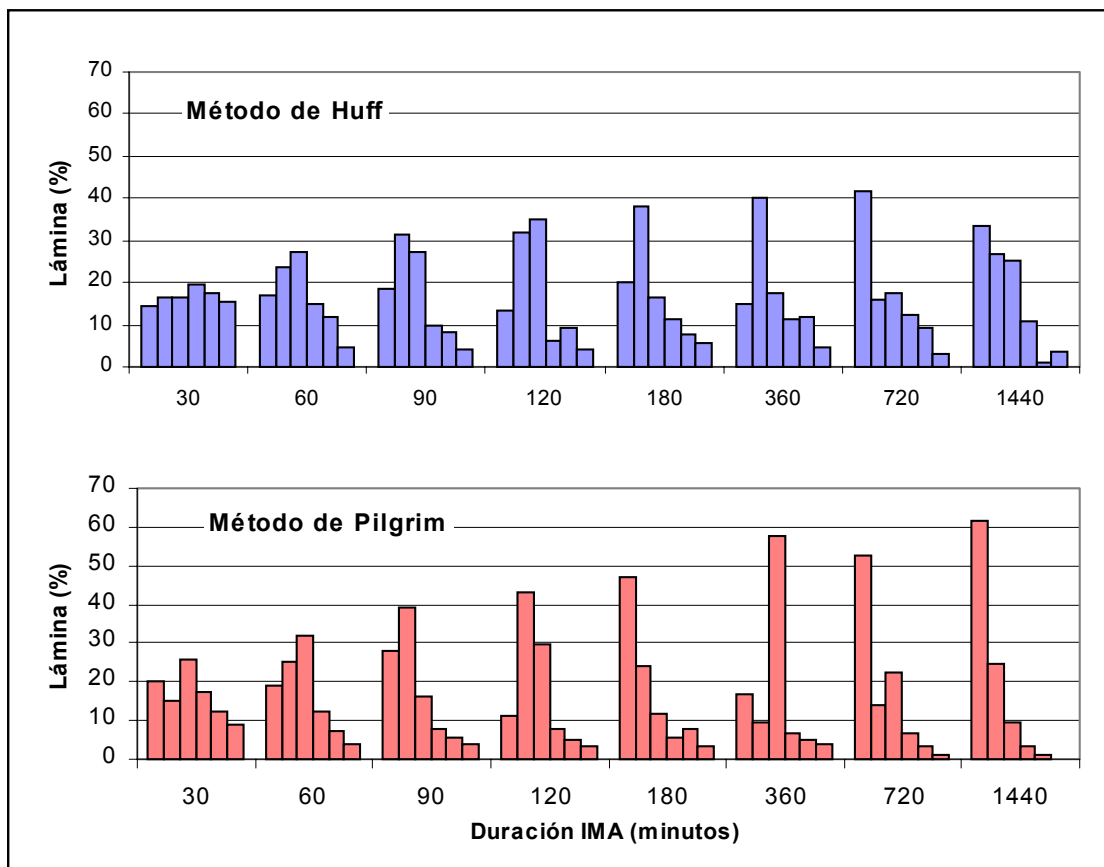


Figura 3. Hietogramas tipo para intervalos de IMA en La Suela

Los patrones de Huff exhiben formas diversas, con preferencia del pico por ubicarse en la primera mitad de la distribución y con una tendencia progresiva de aumento de la lámina acumulada con la duración.

Para duraciones inferiores a los 90 minutos, la moda de la distribución se adelanta del 4to sextil (30 min) al 2do sextil (90 min), permaneciendo en esa posición para las duraciones de 3 y 6 horas, y finalmente ubicarse en el primer sextil a partir del intervalo de 12 horas. La magnitud de la moda, en tanto, supera el 30% de lámina desde los 90 minutos y alcanza un máximo del 42% en el IMA de 12 horas, generando distribuciones empuntadas muy semejantes en el rango de 3 a 12 hs. Para el caso particular de la distribución del intervalo de IMA de 24 horas, esta es más homogénea,

con una fracción máxima de lámina al inicio (33%) que decrece proporcionalmente hasta el fin del intervalo.

Los resultados del método de Pilgrim son igualmente heterogéneos. El pico se mantiene en la primera mitad de la distribución con tendencia definida a adelantarse hacia el inicio y a aumentar progresivamente su magnitud, a medida que crece la duración del intervalo. En los patrones de los intervalos más breves, el pico es proclive a ocupar el tercer sextil, pero luego se adelanta al segundo para finalmente, posicionarse al inicio en las duraciones mayores. La lámina acumulada en tanto, se incrementa de un 26% (intervalo de 30 min) a un 62% en el IMA de 1440 minutos con la particularidad que en los últimos tres intervalos analizados (360, 720 y 1440 min) el pico concentra más de la mitad de la lámina total de la distribución.

Si se comparan las distribuciones de ambas técnicas entre sí, para cada intervalo de IMA analizado, se puede observar que para duraciones breves la forma de la distribución es muy semejante, tanto en la posición de la moda como en su magnitud. Este patrón comienza a diferir según el método de síntesis, en las duraciones intermedias para distinguirse notoriamente en la distribución de 24 horas. En este último caso, la distribución dada por el método del ordenamiento de intervalos ubica el pico con más de la mitad de la lámina en el primer sextil, para después caer bruscamente, caso que no sucede con el patrón de Huff, que acumula la mitad de la lámina recién en los tres primeros sextiles.

En resumen puede decirse que, no hay una forma definida en los patrones, cualesquiera sea la técnica de síntesis, aunque las distribuciones dadas por el método de Pilgrim son más empuntadas y disímiles entre sí que las dadas por Huff.

Contraste entre hietogramas de IMA y de Tormentas Intensas

El contraste entre hietogramas se realiza por cada método de síntesis empleado y para los dos tipos de eventos históricos severos analizados. Dado que los IMA corresponden a duraciones definidas, mientras que las tormentas a categorías por rangos de duración, a fin de poder contrastarlas, se eligieron los IMA de modo que acotaran los cinco rangos de tormentas establecidos en la Tabla 1. O sea, para la categoría de tormenta $d \leq 1$ hora, con los IMA de 30 y 60 minutos, para las tres categorías siguientes los IMA respectivos de cada rango, y para las tormentas de $d > 6$ horas dos rangos de IMA diferentes, el de 360 y 720, y el de 720 y 1440 minutos respectivamente.

Las Figuras 4 y 5 visualizan el contraste de las distribuciones sintetizadas por el método de Huff y de Pilgrim respectivamente, en ambos tipos de eventos históricos.

Para el caso de los eventos sintetizados con la técnica de Huff, se puede observar que el primer caso muestra un patrón bimodal, irregular, para las tormentas intensas, contra una distribución cuasi uniforme para el IMA de 30 minutos y una progresiva hasta el pico en el de 60. Los casos siguientes son todas distribuciones unimodales, tanto de IMA como de tormentas, aunque la ubicación de la moda no coincide en ningún caso comparado.

En general los patrones de tormentas muestran el pico en el primer sextil, para luego decrecer en forma proporcional para duraciones menores a los 360 minutos, mientras que los de IMA prevalecen en el segundo. Para la categoría de tormentas mayores a 6 horas, la situación se invierte, el máximo se sitúa en el segundo sextil en las tormentas, mientras que en los IMA se posiciona en el primero.

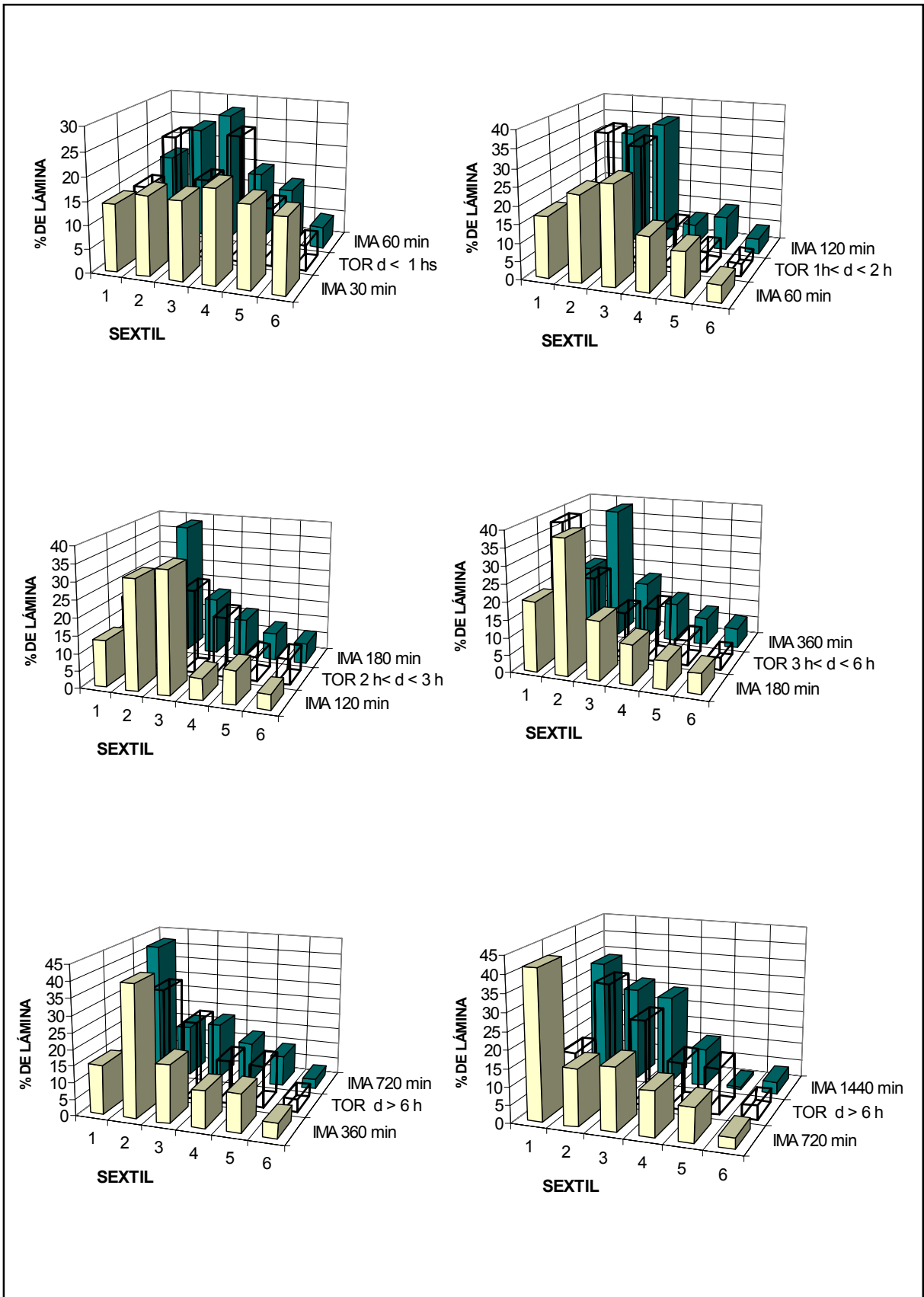


Figura 4. Hietogramas Tipo de IMA y de Tormentas Intensas sintetizados con el Método de Huff en La Suela

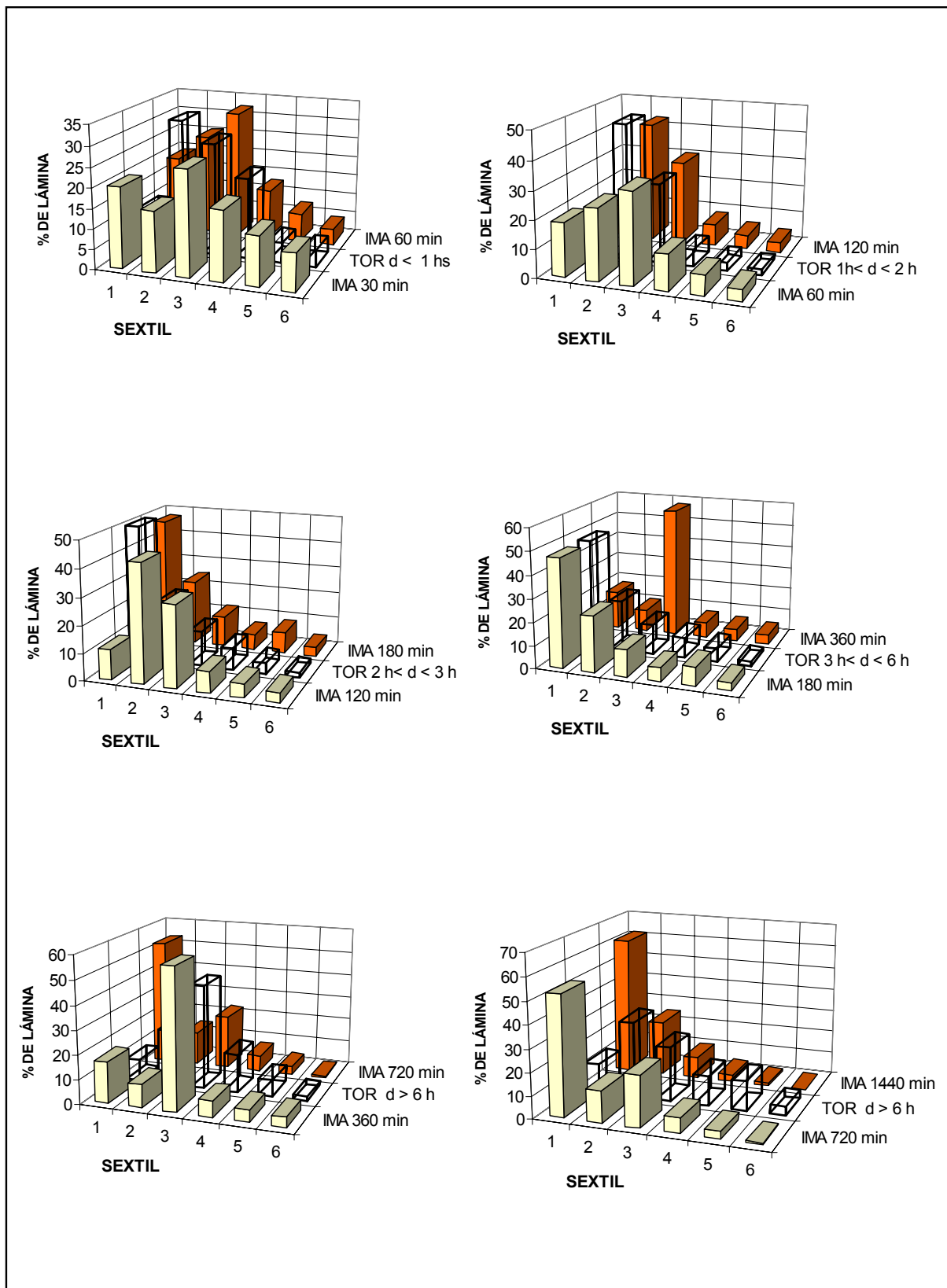


Figura 3. Hietogramas Tipo de IMA y de Tormentas Intensas sintetizados con el Método de Pilgrim en La Suela.

En cuanto a los contrastes entre eventos sintetizados con el Método de Pilgrim, la situación general es muy similar. Los patrones de tormentas son todos unimodales al igual que los de IMA. Los de tormentas muestran el pico en el primer sextil y distribución decreciente, para las categorías comprendidas entre 1 y 6 horas de duración, y pico en el segundo para los extremos de duración (30 y 1440 minutos). Los de IMA, en cambio, son patrones más heterogéneos, evidenciando una diferencia de forma bastante más notoria con los de tormentas, en especial, entre los eventos de mayor duración como es caso de tormentas mayores a 6 horas con IMA de 720 y 1440 minutos.

Esta comparación, en cierta medida cualitativa de las formas, puede cuantificarse en función del error en la magnitud del pico. La Tabla 3 indica la posición de la moda, su porcentaje de lámina y el error absoluto de la magnitud promedio del pico de los IMA respecto al de la tormenta intensa.

Tabla 3. Errores entre los picos de las distribuciones

evento severo	Técnica de Huff			Técnica de Pilgrim		
	sextil pico	% de lámina en el pico	Error absoluto(%)	sextil pico	% de lámina en el pico	Error absoluto(%)
IMA 0,5 h	4	19,6		3	26	
TI 0,5 a 1h	4	26,5	-2,95	2	33	-3,95
IMA 1 h	3	27,5		3	32,1	
TI 1 a 2 h	2	36	-4,75	2	48	-10,5
IMA 2 h	3	35		2	42,9	
TI 2 a 3h	3	24,5	12,15	1	50	-5
IMA 3 h	2	38,3		1	47,1	
TI 3 a 6h	1	38	1,15	1	48	4,4
IMA 6 h	2	40		3	57,7	
TI > a 6h	2	33,3	7,55	3	43	12,3
IMA 12h	1	41,7		1	52,9	
TI > a 6h	2	33,3	0,9	3	43	14,25
IMA 24h	2	26,7		1	61,6	

Puede observarse que la técnica de Huff, aproxima mejor la magnitud del pico entre ambos tipos de eventos. La máxima diferencia se da en el rango de 2 a 3 horas, con un 12% en promedio superior los picos de IMA. A partir de las tres horas y en especial en el rango de 3 a 6 horas y de 12 a 24 horas las diferencias son mínimas (del orden del 1%). Con la técnica de Pilgrim, en cambio, estos errores son superiores, especialmente en las duraciones altas, disminuyendo las diferencias a menos de un 5% (en más y en menos) en la franja de 2 a 6 horas y de 0,5 a 1 h.

CONCLUSIONES

Los hietogramas tipo de diseño sintetizados en este estudio, a partir de Intervalos de Máxima Intensidad Anual, exhiben formas unimodales disímiles, cualesquiera sea el método de síntesis utilizado y la duración analizada. En general, la moda se sitúa en la primera mitad de la distribución, con un incremento progresivo de su magnitud a medida que aumenta la duración del intervalo.

Los patrones dados por el método de Pilgrim son más heterogéneos y empuntados que los sintetizados por el método de Huff. El carácter unimodal y de empuntamiento progresivo en los patrones tipo, a medida que aumenta la duración del IMA, estaría demostrando mayor concentración de la lámina al inicio de la distribución, a causa del consecuente aumento en la duración de cada sextil.

El contraste entre patrones de IMA y de Tormenta Intensas, indica que ambos tipo de eventos históricos severos, generan distribuciones unimodales pero con mayor disparidad entre uno

y otro, en la posición de la moda. Los errores en la magnitud del pico entre ambos, en cambio, no es relevante.

Por último, puede decirse que, a la luz de los resultados, es importante tener presente la forma de la distribución temporal interna de las lluvias de diseño al momento de generar los hidrogramas de proyecto, por su incidencia en el pico de la crecida. La magnitud y la dinámica de las crecientes repentinas en el área serrana de la Provincia de Córdoba, requiere de ésta herramienta, para mitigar sus efectos.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbeito, O.; Beltramone, C. Y Ambrosino, S. (2000)** “*La Geomorfología en la Predicción de Inundaciones Extremas frente al Cambio Climático Global.*” Uso y Preservación de los Recursos Hídricos. CNA2000, Termas de Río Hondo, Argentina.
- Caamaño Nelli, G. y Dasso, C.M. (2003).** “*Lluvias de Diseño. Conceptos, Técnicas y Experiencias*” . Editorial Universitas. 222p. Córdoba, Argentina.
- Caamaño Nelli, G. E.; C. M. García y C. M. Dasso (1999).** “*Hietograma Puntual de Diseño: Correspondencia entre la Estimación y la Distribución de la Altura de Lluvia.*” XIV Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica. Memorias, 157-168. Santiago, Chile.
- Chow, V. T.; D. R. Maidment y L. W. Mays (1994)** “*Hidrología aplicada.*” McGraw-Hill Interamericana S.A. Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- Dasso, C. M. (1997).** “*Análisis de Interiores de Tormentas Intensas en la Estación La Suela.*” Inédito. INA - CIRSA, Córdoba, Argentina.
- Dasso, C. M. y García C.M. (2003).** “*Distribución Temporal Interna: Intervalos de Máxima Intensidad Anual*” l. Cap. 13, pp161-171. En: *Lluvias de Diseño. Conceptos, Técnicas y Experiencias.* Edit. Universitas. Córdoba, Argentina.
- Huff, F. A. (1967).** “*Time Distribution of Rainfall en Heavy Storms*”. WRR., vol. 3, N° 4, 1007-1019. USA.
- Huff, F. A. (1970).** “*Time Distribution of Rainfall Rates*”. WR R, Vol. 6, N° 2, 447-454. USA
- Keifer, C.J. y H. H. Chu. (1957).** “*Synthetic storm pattern for drainage design*”. Journal of Hydraulics Division. Amer. Society of Civil Engineering, Agosto. Vol 83, N° 4, pp. 1-25. USA
- McPherson, M.B. (1958)** “*Discussion of Synthetic storm pattern for drainage desing*” . J. Hyd. Div., Am. Soc. Civ. Eng. vol84, N° HY1, pp. 49-60. USA.
- Pilgrim, D.H.; I. Cordery y R. French. (1969).** “*Temporal Patterns of Design Rainfall for Sydney*”. Civil Engineers Transactions, vol. CE 11, N° 1. The Institution of Engineers, Australia. Sydney.
- Pilgrim, D.H. y I. Cordery. (1975).** “*Rainfall temporal patterns for desing flood*”. Journal of Hydraulics Division. Amer. Society of Civil Engineering, vol 101, N° Hy1, pág 81-95. USA.
- SCS-USDA. (1986).** “*Urban Hydrology for small watersheds*”. Technical Release N° 55. Washington, USA
- Yen, B.C. y Chow, V.T. (1980)** “*Design hietographs for small drainage structures*”. J. Hyd. Div., Am. Soc. Civ. Eng. Vol 106, N° HY6, pp. 1055-1076. USA.