

# REGIONALIZACIÓN DE LLUVIAS DE DISEÑO ENSAYO EN EL CENTRO DE ARGENTINA

**Gabriel Caamaño Nelli <sup>(1)</sup> y Laura Colladon <sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - <sup>(2)</sup> Instituto Nacional del Agua  
Medrano 235 / (5152) Villa Carlos Paz / Córdoba / Argentina. E-mail: [gcaamano@efn.uncor.edu](mailto:gcaamano@efn.uncor.edu)

## RESUMEN

La regionalización es cada día una herramienta más poderosa en hidrología, no sólo por su aptitud para salvar falencias de información, sino también por la visión contextual con la que enriquece los datos locales. Uno de sus principales campos de aplicación es el de la hidrometeorología.

En cuanto a lluvias de diseño, la Provincia de Córdoba, que abarca unos 165.000 km<sup>2</sup> en el centro de la Argentina continental, tiene una destacable trayectoria en investigación regional, tanto referida a la relación entre intensidad, duración y período de retorno (i-d-T), como a la precipitación máxima probable (PMP).

Una duda asociada a esos productos es la extensión espacial de la región, para evaluar en que medida dichos conocimientos se pueden aprovechar en territorios circunvecinos de rasgos similares.

La ejecución de un estudio aplicado en la Provincia de San Luis, limitante al suroeste con la anterior, dio la oportunidad para abordar esa inquietud.

En la cuenca del Río Quinto se ensayaron procedimientos de índole estadística, concretamente predictores basados en factores de frecuencia, tanto para transponer la función i-d-T a nueve estaciones de San Luis, como para incorporarlas al análisis de PMP.

En el primer caso se empleó el modelo DIT, que opera con una zonalización de la región. En el segundo, la técnica propuesta por Hershfield, de naturaleza netamente regional.

Las pruebas comprendieron dos períodos discontinuos (1954-1989 y 1954-2000), uno con lluvias de alta probabilidad de ocurrencia en esa cuenca y otro con eventos francamente atípicos.

Los resultados obtenidos ratifican la aptitud de estos esquemas de predicción bajo condiciones semejantes a las de calibración y evidencian los riesgos de utilizarlos en circunstancias drásticamente diferentes, en especial para estimar la PMP.

**Palabras clave:** Hidrometeorología - Regionalización - Lluvias de diseño.

## ENFOQUE DEL ESTUDIO

La presa El Chañar se encuentra emplazada en las inmediaciones de la estancia homónima; sobre el curso inferior del Río Quinto o Popopis; alrededor de los 65° de longitud oeste y los 34° de latitud sur; al suroeste de la Provincia de Córdoba; aproximadamente a 4 Km aguas abajo del límite entre ésta y la de San Luis y a 7,5 Km al sur de la Ruta Nacional 7, en su kilómetro 645 (Figura 1).

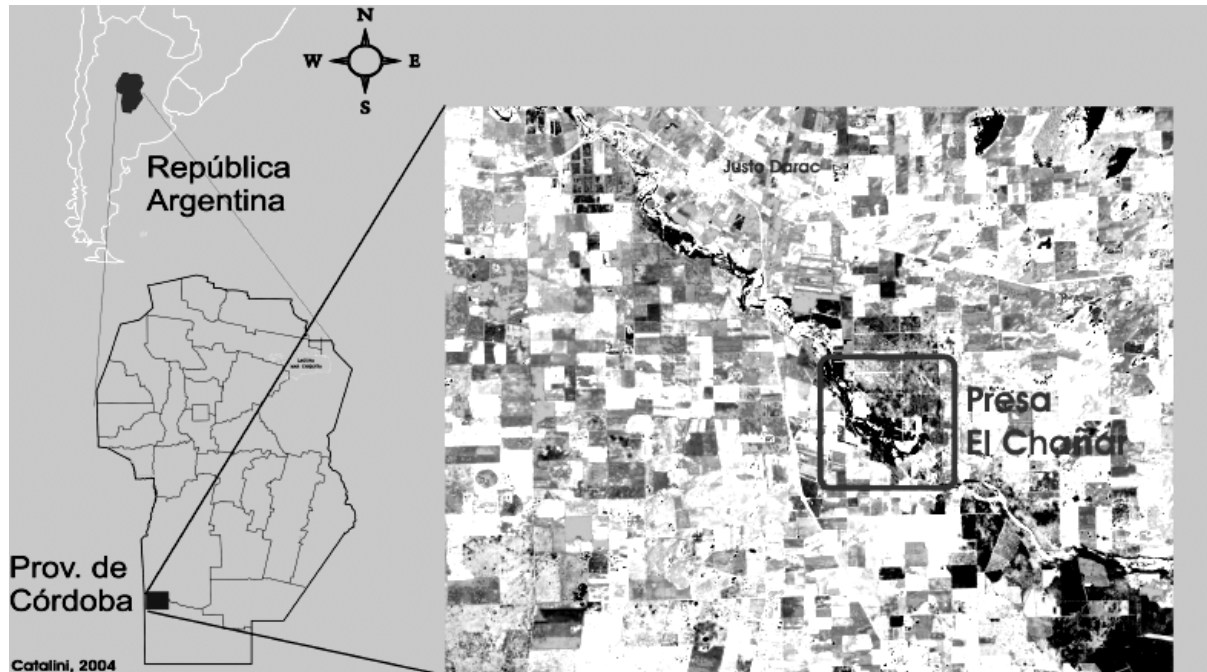


Figura 1: Ubicación de la presa El Chañar

Durante la elaboración del proyecto de la presa, se detectaron incertidumbres que sugerían redimensionarla, llevando a verificar y ampliar el estudio hidrológico. A diferencia de la estimación original, basada en estadística de caudales observados, este replanteo (Bertoni et al., 2004) partió de predecir lluvias de diseño en estaciones de la cuenca alta (Figura 2) y media, en San Luis.

Las pruebas comprendieron dos períodos discontinuos (1954-1989 y 1954-2000), uno con lluvias de alta probabilidad de ocurrencia en esa cuenca y otro con eventos francamente anómalos.

El presente artículo se centra en el efecto de tales fenómenos atípicos sobre las predicciones y el riesgo de utilizar éstas en circunstancias drásticamente diferentes a las de calibración.

No se dispuso de pluviografía de la Provincia de San Luis, de donde deducir la relación intensidad-duración-recurrencia (i-d-T), ni de suficientes estaciones pluviométricas para un análisis regional de la precipitación máxima probable (PMP). Pero investigaciones previas (Caamaño Nelli y Dasso, 2003), sobre lluvias de diseño para Córdoba, permitieron transponer funciones y parámetros esenciales, gracias a las siguientes similitudes entre uno y otro ámbito geográfico:

- Las sierras de San Luis, aunque separadas de las cordobesas por el valle de Conlara, forman parte del mismo macizo precámbrico, las Sierras Pampeanas. En consecuencia, los pluviómetros de la cuenca alta, que miden la precipitación donde se generan las crecientes del Río Quinto, están emplazados en el mismo ambiente orográfico que aquellos (de la Zona Sierras) empleados en las investigaciones de referencia.

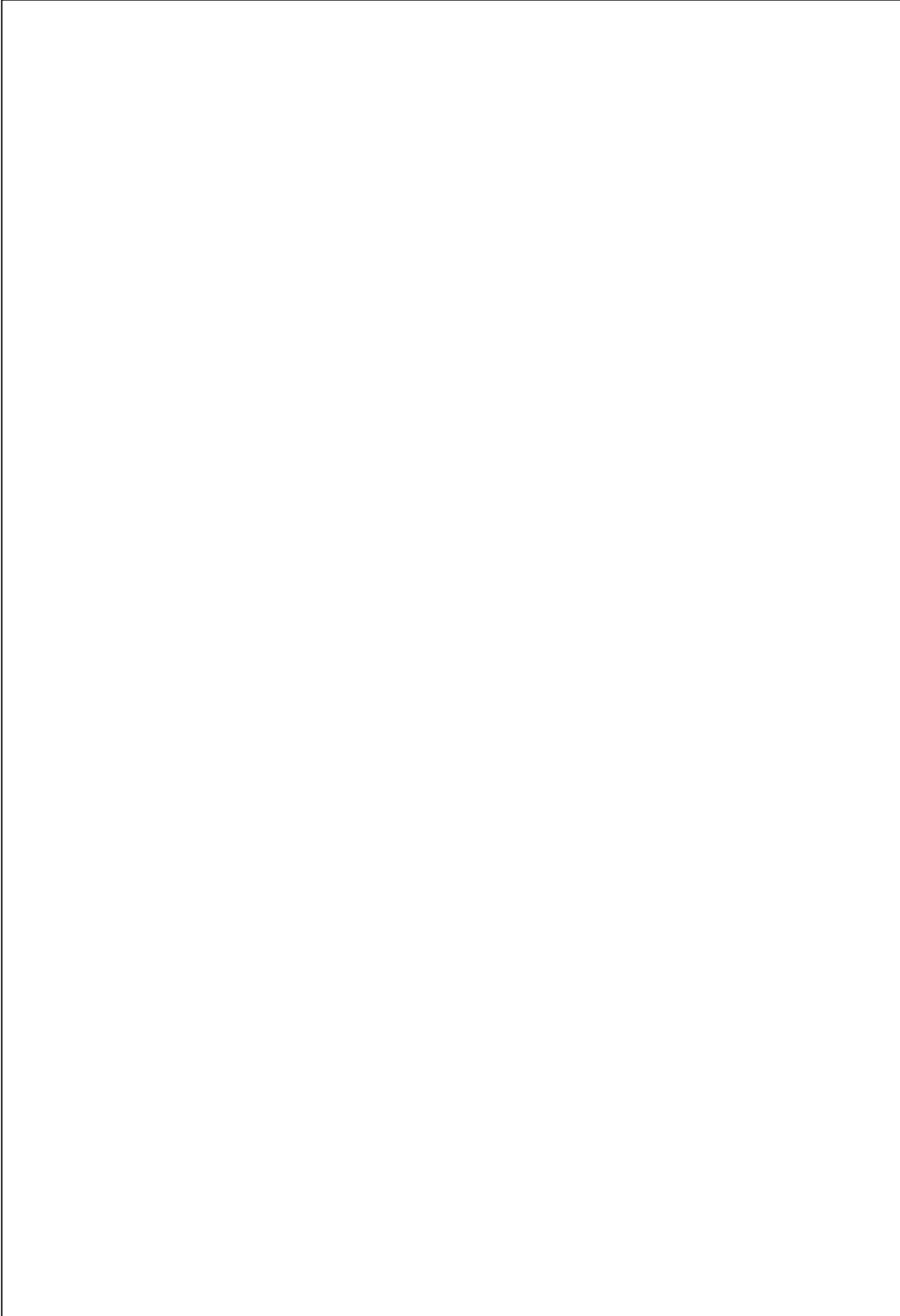


Figura 2: Ubicación de las estaciones pluviométricas de la cuenca alta

- Igual consideración cabe a los puestos de medición de la cuenca media del Quinto, situados en el pie de monte de la vertiente oriental de dicho afloramiento montañoso, ya que los de (la Zona Suroeste de) Córdoba se encuentran allí o en la plataforma basculada adyacente.
- Los conjuntos de estaciones de las dos provincias tienen condiciones climáticas similares, dado que se ubican en el límite oeste del área abarcada en nuestro país por el clima templado con invierno seco (Cw, según la clasificación de Köppen).
- En principio, entonces, ambos conjuntos se deben considerar parte de la misma población al evaluar la PMP, sobre todo teniendo en cuenta que conviene a tal fin ampliar el concepto de región, para obtener evaluaciones realistas (Caamaño Nelli, García y Dasso, 1999).
- Para el agrupamiento por zonas de transposición de la función i-d-T (Caamaño Nelli, García y Dasso, 1998), los umbrales fijados en Córdoba no siempre se respetan al incluir los puestos de San Luis. Pero la excedencia es admisible dada la semejanza hidrometeorológica.
- La distancia al pluviógrafo base (150 km) es superada entre 30 y 50 % por las estaciones serranas y en el orden de 10 % por las de llanura. La diferencia de precipitación media anual, por defecto con respecto a Córdoba, está sobre el límite convencional (100 mm). El desnivel topográfico se encuentra dentro de la tolerancia (200 m).

Por lo expuesto, se asume que, para el cálculo de PMP, los pluviómetros de la cuenca del Río Quinto utilizados integran la región y que, a los fines de transponer funciones i-d-T, los de las cuencas alta y media forman parte de las zonas Sierras y Suroeste de Córdoba, respectivamente.

## METODOLOGÍA

Tanto para la función i-d-T como para la PMP, se recurrió a procedimientos de estimación de índole estadística. En el primer caso, por la naturaleza conceptual de la relación; en el segundo, debido a los requerimientos de información no disponible de la alternativa hidrometeorológica.

En concreto, se usaron predictores basados en factores de frecuencia, por considerarlos los mejor fundados en su tipo y por ser coherentes entre sí y con los de las investigaciones referidas.

La atenuación de láminas locales, requerida para evaluar la media areal, se realizó con un enfoque clásico, en función del área de la cuenca y de la duración de la lluvia, empleando un algoritmo desarrollado y calibrado en la región de referencia.

### Relación intensidad-duración-recurrencia

Este vínculo fue representado con el modelo **DIT** (Caamaño Nelli y García, 1999), cuya expresión final es

$$\ln i_{dT} = A \cdot \Phi_y - B \cdot \delta_y + C \quad (1)$$

siendo

$i_{d,T}$  la intensidad media de la mayor lluvia, de duración  $d$ , esperable en el período de retorno  $T$   
 $\Phi_y$  el *factor de frecuencia* (Chow, 1951)

$$y = \mu_y + \sigma_y \cdot \Phi_y \quad (2)$$

$y$  la variable aleatoria       $\mu_y$  la media de la serie       $\sigma_y$  su desvío estándar  
 $\delta_y$  el *factor de persistencia*:

$$\delta_y = (\ln d)^q \quad (3)$$

**A,B,C,q** los 4 parámetros del modelo.

Bajo la hipótesis que la distribución probabilística de la lámina de lluvia máxima anual de cualquier duración es reflejada por una lognormal (comprobada en Córdoba), DIT opera con el logaritmo de la intensidad como variable aleatoria, que resulta normalmente distribuido.

En tal caso, el factor de frecuencia depende sólo del período de retorno (Caamaño Nelli y García, 1997):

$$\Phi_y = 2,584458 \cdot (\ln T)^{0,375} - 2,252573 \quad (4)$$

Este algoritmo presenta varias condiciones deseables: sigue un modelo estadístico, reúne las tres variables en una expresión analítica e identifica la influencia de la lluvia diaria en el vínculo, merced al sentido físico de los parámetros **A** y **C**.

Esto último permite transponer la función, calibrada en un pluviógrafo base, a pluviómetros de su zona, rectificándola según las características de las series medidas en cada uno de éstos.

### **Precipitación Máxima Probable**

La PMP puede responder a dos enfoques (Mc Kay, 1973; Caamaño Nelli, García y Dasso, 1999): Uno, hidrometeorológico, enfatiza su condición de *máxima*, al asumirla como límite físico infranqueable; el otro, estadístico, privilegia el carácter de *probable* y la concibe como evento con probabilidad sumamente baja, pero finita, de ser excedido (Hershfield, 1981; Bertoni y Tucci, 1993).

Las técnicas estadísticas son preferibles si se dispone de suficientes datos de lluvia y escasa información climatológica (punto de rocío, viento, efecto orográfico). La más aceptada (WMO, 1973), propuesta por Hershfield (1961, 1965), se basa en minimizar la probabilidad de ocurrencia de la lluvia, maximizando el factor de frecuencia en la ecuación general de frecuencia de Chow.

Como se asume un límite para la lámina (la PMP), con probabilidad de excedencia bajísima, habrá un tope en el número de desvíos en que el dato supere a la media, o sea, un valor máximo,  $\Phi_{PMP}$ , para el factor de frecuencia. Entonces, la precipitación máxima probable se puede expresar como:

$$PMP = \mu_y + \Phi_{PMP} \cdot \sigma_y \quad (5)$$

El método estima  $\Phi_{PMP}$  mediante factores  $\Phi_{n-1}$ , asociados a la mayor lámina,  $y_m$ , de cada serie de lluvia local de una región:

$$\Phi_{n-1} = \frac{y_m - \mu_{n-1}}{\sigma_{n-1}} \quad (6)$$

El subíndice **n-1** indica que, al calcular media y desvío, se excluye el mayor de los **n** datos anuales,  $y_m$ , maximizando el valor de  $\Phi$ . Tal corrección equivale a registrar el máximo de lluvia cuando  $\mu_n$  y  $\sigma_n$  ya están calculados. Simula cómo se alteran los estadísticos al incluir una lluvia mayor, usando  $y_m$  en la serie trunca en vez de PMP en la total.

La variación de  $\Phi$  por otras causas (ubicación, mecanismo y área de tormenta, datos atípicos, largo de serie) ha sido analizada (Wiesner, 1970) y hay correcciones para algunas de ellas (WMO, 1973).

Ajustados los estadísticos de cada serie local, se asume que la envolvente,  $\Phi_{PMP}$ , de los  $\Phi_{n-1}$ , refleja la PMP regional. Los  $\Phi_{n-1}$  tienden a decrecer al aumentar la media de los máximos anuales,  $\mu_n$ , de las series completas. Caamaño Nelli, García y Dasso (1999) reflejaron esa tendencia con una

envolvente exponencial negativa, cuyos parámetros,  $\Phi_0$  y  $k$ , se deducen aplicando la función a los dos puntos extremos de la muestra:

$$\Phi_{PMP} = \Phi_0 \cdot e^{-k \cdot \mu_n} \quad (7)$$

Los mismos autores (1999) dedujeron con esta técnica la PMP diaria de 140 puntos de la Provincia de Córdoba y establecieron (2000a) que, debido al carácter regional del estimador, su aplicación directa a series pluviográficas, habitualmente escasas, produce subestimación de la PMP para duraciones inferiores a 24 horas. Es preferible trazar la envolvente con datos pluviométricos, más numerosos, y afectar los valores de PMP diaria resultantes por cocientes zonales entre láminas (deducidos de la pluviografía), para obtener las precipitaciones máximas probables más breves.

### **Reducción de láminas a escala de cuenca**

La atenuación se realizó con el modelo CoDA (García, Catalini y Caamaño Nelli, 2000) recalibrado para la región de referencia (Rodríguez, 2004). En este algoritmo, el coeficiente de decaimiento areal (CDA), factor de conversión de láminas locales en areales, es función potencial del área de la cuenca,  $A$ , cuyo parámetro  $k$  depende, de igual modo, de la duración de la lluvia,  $d$ :

$$CDA = 25^{-k} \cdot A^k \quad \text{ó bien} \quad \ln CDA = k \cdot \ln A - k \cdot \ln 25 \quad \text{siendo} \quad -k = 2,1438 \cdot d^{-0,4774} \quad (8)$$

Las ecuaciones son válidas para  $A > 25 \text{ km}^2$ . Para área menor, la lámina local no se rectifica.

## **INFORMACIÓN EMPLEADA**

Los datos de partida fueron valores de precipitación diaria máxima anual. El año hidrológico se fijó desde el 1° de septiembre del año calendario citado como referencia hasta el 31 de agosto del siguiente, partición habitual en la región porque garantiza la integridad de cada hemicyclo húmedo.

El único período en que se dispuso de registros válidos para análisis estadístico fue de 1954 a 1989, cuando hay mediciones en 8 estaciones de la cuenca alta y una de la media (Pozo Cavado). Las series en este lapso, cuyos rasgos se resumen en la Tabla 1, se obtuvieron bajo dos condiciones:

- Considerando válidos los años con registro en la segunda parte del hemicyclo (enero-agosto), asumiendo que en ella ocurre el máximo, hipótesis que se verificó en los años completos.
- Admitiendo interrupciones de uno o más años en la secuencia temporal. En las estaciones serranas, estos cortes se dan generalmente en 1963, 1970-71, 1974-77 y 1987-89. En el puesto de llanura, en cambio, se tiene un período continuo de 1966 a 1985.

Otra información en estas estaciones son mediciones parciales de equipos automáticos de alta frecuencia, en 1999 y 2000. La separación de una década con los restantes y lo escaso de estos registros no aconseja incorporarlos al análisis estadístico. No obstante, la ocurrencia de tormentas excepcionales puntuales en esos años indujo a efectuar una comparación, entre las series previas y

**TABLA 1: Descripción de las series de lluvias máximas diarias - Período 1954-1989**

PARÁMETROS DE LA SERIE	ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA								
	Paso del Rey	Inti Huasi	San Eduardo	La Florida	Estancia Virorco	Cerros Largos	Pozo Cavado	El Valle	La Carolina
Nº AÑOS	29	25	23	25	25	25	20	18	26
MÁXIMO	110,5	85,5	117,0	125,0	110,0	97,0	105,5	110,0	136,0
MEDIA	63,3	64,0	58,2	64,9	69,4	62,1	58,8	68,0	77,4
DESVÍO	16,9	11,3	21,2	18,4	18,8	16,8	21,5	20,6	25,4

<b>TABLA 2: Descripción de las series de lluvias máximas diarias - Período 1954-2000</b>									
<b>PARÁMETROS DE LA SERIE</b>	<b>ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA</b>								
	<b>Paso del Rey</b>	<b>Inti Huasi</b>	<b>San Eduardo</b>	<b>La Florida</b>	<b>Estancia Virorco</b>	<b>Cerros Largos</b>	<b>Pozo Cavado</b>	<b>El Valle</b>	<b>La Carolina</b>
<b>Nº AÑOS</b>	30	26	23	25	27	26	20	20	28
<b>MÁXIMO</b>	110,5	85,5	117,0	125,0	221,4	97,0	105,5	134,1	303,7
<b>MEDIA</b>	62,1	62,9	58,2	64,9	74,5	61,7	58,8	71,2	84,2
<b>DESVÍO</b>	17,7	12,6	21,2	18,4	34,6	16,6	21,5	24,5	49,9

las conformadas incluyendo los nuevos datos. Los parámetros de éstas se muestran en la Tabla 2.

### **PREDICCIÓN DE LLUVIAS DE DISEÑO**

Calculados los estadísticos de las series de logaritmos de las láminas de lluvia diaria máxima, se rectificaron los parámetros del DIT por transposición, partiendo de los de La Suela (para estaciones de la cuenca alta del Río Quinto) y Río Cuarto (para la de la cuenca media), pluviógrafos base de las zonas Sierras y Suroeste de Córdoba, respectivamente.

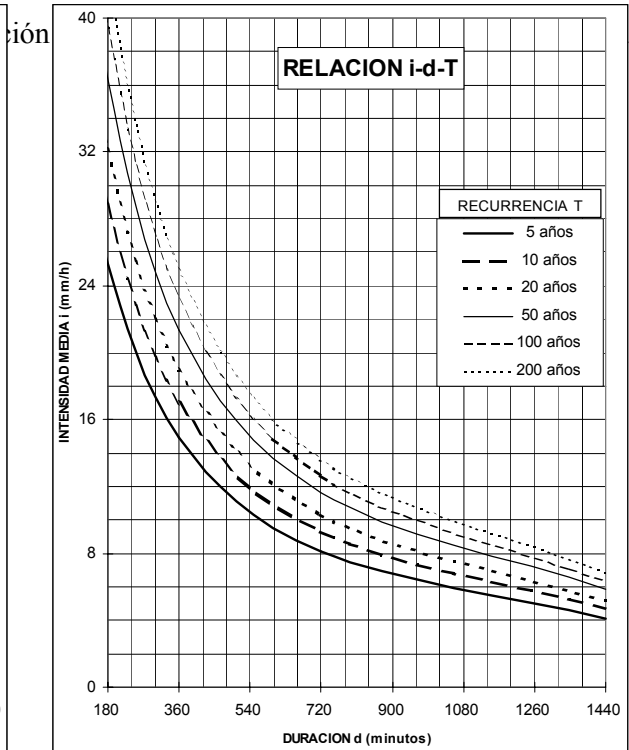
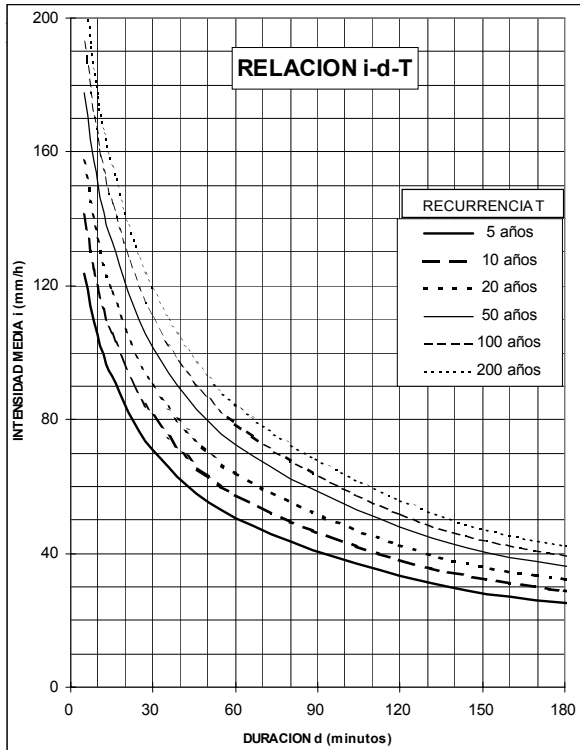
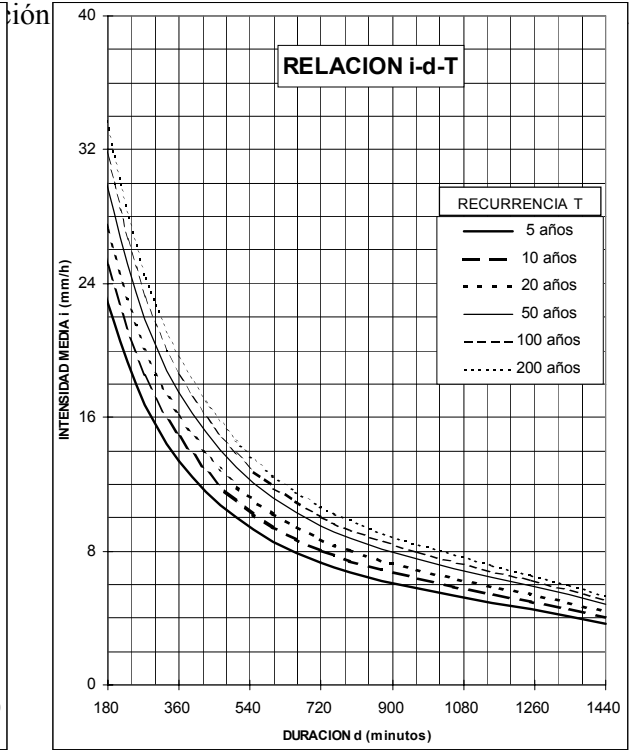
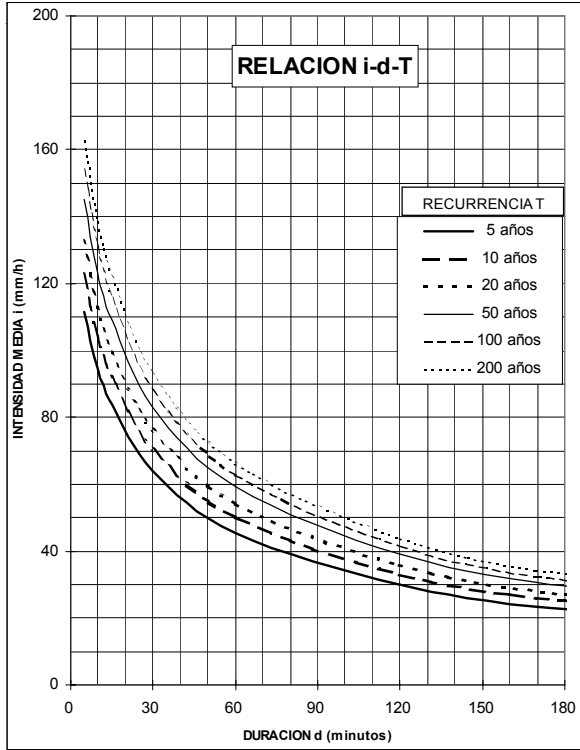
Luego se dedujo la función i-d-T de cada pluviómetro, en los rangos de 5 a 1440 minutos de duración y de 2 a 200 años de período de retorno. Las figuras 3 y 4 muestran ejemplos de las trazas originadas por las series 1954-1989 y 1954-2000, respectivamente, de la estación Estancia Virorco.

Para el cálculo de PMP, los estadísticos de las series completa y trunca fueron sometidos a todas las correcciones indicadas por Hershfield. Las figuras 5 y 6, para las series 1954-1989 y 1954-2000 respectivamente, plantean la envolvente exponencial de factores de frecuencia en el plano  $\Phi-\mu_n$ . Contrastan además los puntos representativos de las 9 estaciones de San Luis (fondo negro) y de las 140 de Córdoba (fondo blanco), como control de que forman parte de la misma región.

Las tablas 3 y 4, por su parte, presentan la predicción de lluvias máximas diarias, basada en ambas series, para algunos valores de recurrencia y para la PMP.

<b>TABLA 3: Predicción de lluvias máximas diarias, basada en las series 1954-1989</b>									
<b>PERÍODO DE RETORNO</b>	<b>ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA</b>								
	<b>Paso del Rey</b>	<b>Inti Huasi</b>	<b>San Eduardo</b>	<b>La Florida</b>	<b>Estancia Virorco</b>	<b>Cerros Largos</b>	<b>Pozo Cavado</b>	<b>El Valle</b>	<b>La Carolina</b>
5 años	79	77	77	82	88	80	60	89	101
10 años	86	82	87	90	97	89	70	100	113
20 años	93	86	97	97	105	97	79	109	125
50 años	100	90	109	106	115	106	92	122	139
100 años	105	93	118	112	122	113	101	130	149
200 años	111	96	127	118	129	120	110	139	159
PMP	226	184	280	219	242	241	303	267	273

<b>TABLA 4: Predicción de lluvias máximas diarias, basada en las series 1954-2000</b>									
<b>PERÍODO DE RETORNO</b>	<b>ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA</b>								
	<b>Paso del Rey</b>	<b>Inti Huasi</b>	<b>San Eduardo</b>	<b>La Florida</b>	<b>Estancia Virorco</b>	<b>Cerros Largos</b>	<b>Pozo Cavado</b>	<b>El Valle</b>	<b>La Carolina</b>
5 años	79	78	77	82	98	79	60	94	114
10 años	88	83	87	90	112	88	70	107	134
20 años	95	89	97	97	125	95	79	118	153
50 años	104	95	109	106	141	105	92	133	178
100 años	111	99	118	112	153	111	101	143	196
200 años	117	103	127	118	164	118	110	154	215
PMP	238	200	280	219	251	239	303	275	291



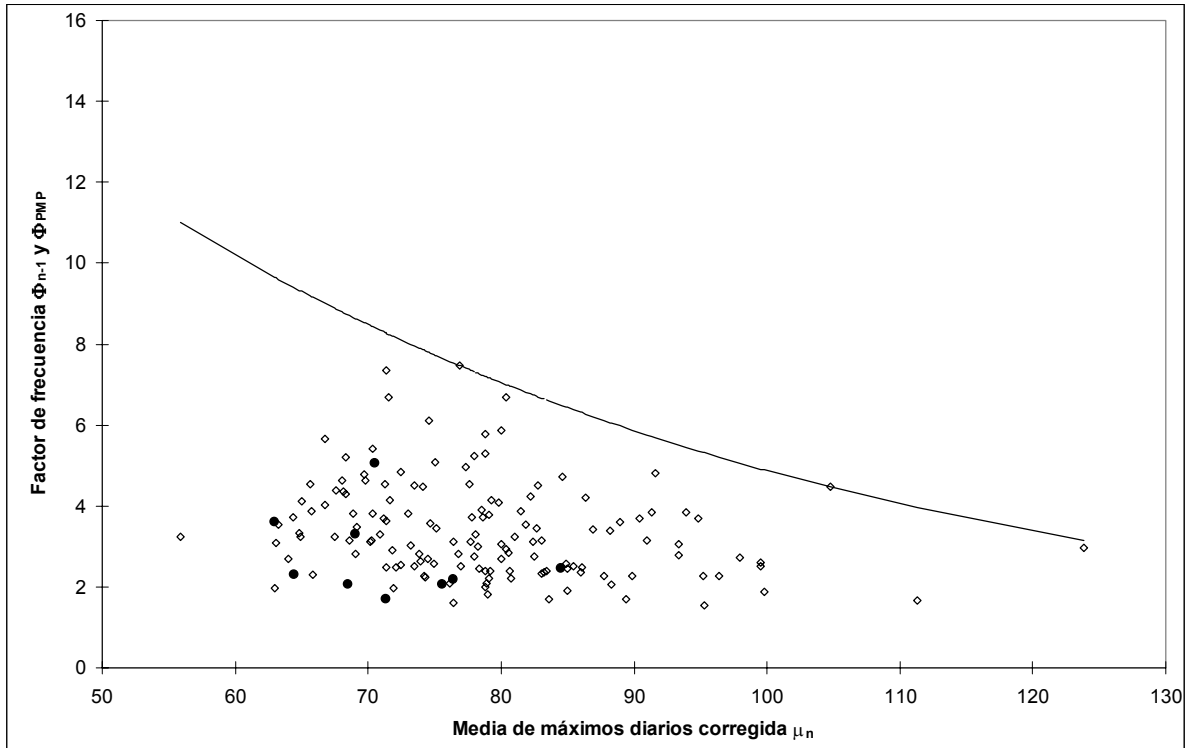


Figura 5: Control de pertenencia regional, con la envolvente exponencial, para series 1954-1989.

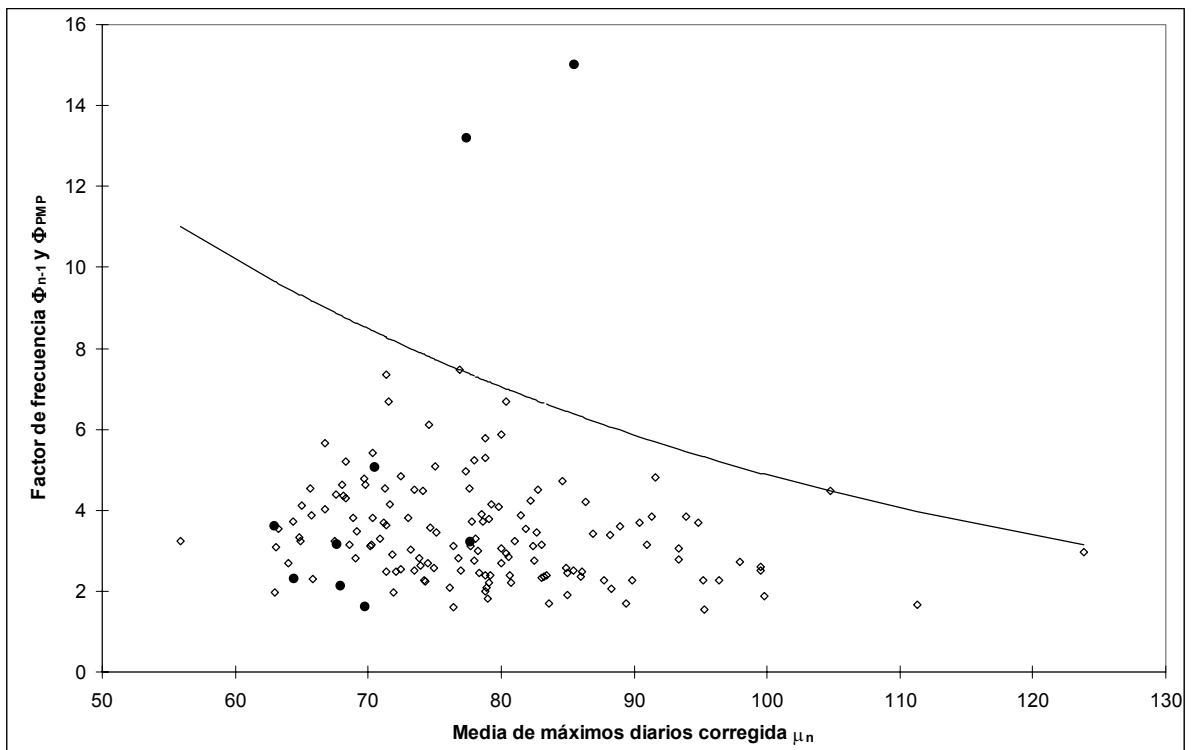


Figura 6: Control de pertenencia regional, con la envolvente exponencial, para series 1954-2000.

## ANÁLISIS DE ESTIMACIONES DE LÁMINAS LOCALES

Centrándose en lo que se deduce de las series 1954-1989, las estimaciones se ajustan a lo previsible. Los valores son inferiores a los de las estaciones base respectivas, representando porcentajes que decaen al aumentar el período de retorno, en general entre 90 y 60 %. Sin embargo, hay casos más extremos: El valor de Inti Huasi, para 200 años, es el 52 % del de referencia y el de La Carolina, para 5 años, es el 103 %. La estación de llanura, Pozo Cavado, no muestra un comportamiento diferente de las demás, salvo por la poca variación del porcentaje: 65 a 62 %.

En cuanto a la PMP, los porcentajes son siempre más elevados, sin proporcionalidad con los extraídos de las i-d-T, efectos ambos del método regional de cálculo. Referidos a las estaciones base, van de 63 % en Inti Huasi a 96 % en San Eduardo.

La Figura 5 evidencia que todos los puntos representativos del factor de frecuencia se hallan en la región del plano limitada por la envolvente, correspondiendo a valores medios a bajos en ambos ejes. Por ende, las estaciones de San Luis integran la misma región hidrometeorológica.

La evaluación de los resultados de las series 1954-2000 es muy diferente, salvo en San Eduardo, La Florida y Pozo Cavado, donde coinciden, al no haber datos de 1999 ni del 2000.

En los demás puestos, al ir de 5 a 200 años de retorno, los valores crecen en distinta medida frente a los de las series previas: 0 a 6 % en Paso del Rey; 1 a 7 % en Inti Huasi; 6 a 11 % en El Valle; 11 a 28 % en Virorco y 13 a 35 % en La Carolina. Comparando las figuras 3 y 4 se aprecia la diferencia en las i-d-T de Virorco. La excepción fue Cerros Largos, con mermas de 1,0 a 1,6 %.

Con respecto a las estaciones base, el panorama se parece al surgido de las series más cortas, con valores mayores. Los porcentajes bajan al crecer la recurrencia, en general entre 96 y 62 % y como antes con salvedades: Inti Huasi, 200 años, 55% y Virorco, 5 años, 100 % del de referencia.

En La Carolina el resultado es raro: las lluvias predichas son el 116 % de las del pluviógrafo base, al margen del período de retorno. Esto es porque, con la nueva serie, ambas i-d-T difieren, en la práctica, sólo en el término independiente del DIT, que genera una proporcionalidad entre ellas.

Estos valores resultan sospechosos, para un sector presuntamente más seco que el de referencia. La explicación es que se han incorporado eventos atípicos, de probabilidad de ocurrencia muy baja en un período tan breve, en las series de La Carolina y Virorco y, quizás, de El Valle.

No obstante, dado el respaldo que a priori tiene la transposición zonal, que contempla los rasgos locales (como lo prueba su adaptación a los nuevos datos) las predicciones serían válidas.

Esto siempre que se acepte extrapolar tanto el período de retorno, que para el mayor evento del año 2000, el 13/4/2001, según su duración en cada uno de estos tres puestos, sería de 4.200, 9.700 y 71 años. Las recurrencias en 24 horas, 5.200, 6.400 y 54 años, difieren de las anteriores y no siempre de la misma manera, debido a la ocurrencia de una segunda tormenta en esa fecha.

La verosimilitud de estos números contrasta con lo que ocurre en cuanto a la PMP. En relación con la evaluación precedente, se incrementó en 5,4 % en Paso del Rey; 8,3 % en Inti Huasi y 2,8 % en El Valle y decayó en Cerros Largos 0,8 %. Frente a las estaciones base, los porcentajes de los otros puestos van de 63% en Inti Huasi a 96 % en San Eduardo, valores que resultan creíbles.

Pero las estimaciones para Ea.Virorco y La Carolina no deben tenerse en cuenta, ya que, como muestra la Figura 6, sus factores de frecuencia exceden por mucho a la envolvente, cuyos

valores arroja el cálculo. De hecho, de las tablas 2 y 4 se desprende que el máximo diario en La Carolina (303,7 mm) supera la PMP predicha (290,8 mm). Esto también se debe a la inclusión de eventos atípicos, que en este caso la índole regional del método impide corregir, salvo que se replantee la envolvente, lo cual excede las disponibilidades de tiempo e información de este estudio.

## EVALUACIÓN DE LÁMINAS MEDIAS POR CUENCA

Como en Córdoba, las tormentas severas de la cuenca del Río Quinto en San Luis responden a dos tipos de procesos meteorológicos: convectivo y frontal, con incidencia orográfica en ambos.

Los primeros generan precipitaciones intensas, como las registradas en los últimos años en algunos puestos, pero, a juzgar por lo que acontece en la región de referencia, su marcada localización hace que sean generalmente las segundas las que originan las grandes crecientes, para un tamaño de cuenca como la del Río Quinto con cierre en El Chañar.

A diferencia de las convectivas, con fuerte atenuación espacial de las láminas, las lluvias de frente producen campos homogéneos, dejando dos opciones para estimar la lluvia areal de diseño:

- Emplear los valores derivados de las series 1954-1989, exentas de datos atípicos y en apariencia dominadas por tormentas frontales, sin considerar decaimiento areal.
- Emplear los valores provistos por las series 1954-2000, signados por eventos convectivos excepcionales, en los puestos donde se ubica el núcleo, y efectuar reducción espacial.

En consecuencia, con miras a maximizar las crecidas, hay que elegir, en cada caso, la alternativa de cálculo que conduzca a una lámina mayor.

Lo que se ha denominado cuenca alta del Río Quinto hasta aquí, se refiere al sector serrano, donde se generan las crecientes. En realidad, incluye varias cuencas, con área inferior a 500 km<sup>2</sup>, rango de ajuste del modelo CoDA: Río Grande (370 km<sup>2</sup>) que, como El Trapiche, tributa al embalse La Florida (470 km<sup>2</sup>), Riocito (110 km<sup>2</sup>), Río Rosario (260 km<sup>2</sup>) y Cañada Honda (470 km<sup>2</sup>).

En vista de las estaciones ubicadas en cada cuenca y de las láminas locales estimadas en ellas con las respectivas i-d-T, el análisis indica que se deben atenuar los valores de Virorco, para reflejar las lluvias de El Trapiche, y los de La Carolina, representativos de Río Grande y La Florida. Por el contrario, se deben asumir sin cambio las predicciones de la serie 1954-89, en Paso del Rey, como típicas de las cuencas de Riocito y Cañada Honda, y en Cerros Largos, de la del Río Rosario.

La Precipitación Máxima Probable por cuencas debe ser la predicha con base en la serie 1954-1989, porque la atenuación indicada por el CoDA hace que la deducida de la serie 1954-2000 sea inferior, aún donde se empleó el mayor valor medido en La Carolina, 303,7 mm en 24 horas, que se redujo a 254 mm para Río Grande y 250 mm para La Florida.

La Tabla 5 resume las láminas medias por cuenca que resultan de dichas consideraciones.

<b>TABLA 5: Lluvias máximas diarias predichas por cuenca</b>						
<b>PERÍODO DE RETORNO</b>	<b>CUENCA</b>					
	<b>Cañada Honda</b>	<b>Riocito</b>	<b>La Florida</b>	<b>El Trapiche</b>	<b>Río Rosario</b>	<b>Río Grande</b>
100 años	<b>105</b>	<b>105</b>	<b>161</b>	<b>139</b>	<b>113</b>	<b>164</b>
PMP	<b>226</b>	<b>226</b>	<b>273</b>	<b>242</b>	<b>241</b>	<b>273</b>

## CONCLUSIONES

Este estudio muestra que la zona de San Luis bajo análisis forma parte de la región de referencia, restringida inicialmente a la Provincia de Córdoba.

Ante condiciones similares a las de calibración, los algoritmos de estimación de lluvias de diseño se adaptan sin inconvenientes, dando resultados totalmente razonables.

Aún ante la inclusión de valores con muy baja probabilidad de suceder en un período de análisis reducido, el predictor en función de la recurrencia (modelo DIT) se adecua con facilidad. El método de Hershfield, en cambio, condicionado por su carácter regional, carece de la flexibilidad necesaria y requeriría un nuevo ajuste, con datos actualizados de toda la región.

En tanto esto no se realice, se debe elegir con cuidado, en cada caso, el modo de maximizar las lluvias, aplicando o no una reducción areal, según cuál sea el proceso meteorológico más crítico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bertoni, J.C.; C. G. Catalini; G. Caamaño Nelli y L. Colladon** (2004) *“Revisión y Ampliación del Estudio Hidrológico de la Presa El Chañar. Informe preliminar a la DIPAS.”* Inédito. Villa Carlos Paz, Argentina.
- Bertoni, J. C. y Tucci, C. M.** (1993) *“Precipitação”*, Capítulo 5 en: Hidrología, Ciência e Aplicação. C. M. Tucci (editor), Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil.
- Caamaño Nelli, G.; L. E. Colladon; C. M. Dasso y R. I. Pazos** (2001) *“Predicción de Crecientes Severas en Villa Carlos Paz, Cuenca del Río San Antonio, Argentina”*. Seminario Internacional sobre Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas (SIMICH), 84. CURIHAM. Rosario, Argentina.
- Caamaño Nelli, G. y C. M. Dasso**, coordinadores (2003) *Lluvias de Diseño: Conceptos, Técnicas y Experiencias*. Editorial Universitas. 222 páginas. ISBN: 987-9406-43-5. Córdoba, Argentina.
- Caamaño Nelli, G. y C. M. García** (1997) *“Estimación de Máximos en Hidrología: Factores de Frecuencia Normal y Lognormal”*. Cuadernos del CURIHAM (ISSN 1514-2906). Año 3. Nº 3. 1-17. Rosario, Argentina.
- (1999) *“Relación Intensidad-Duración-Recurrencia de Lluvias Máximas: Enfoque a través del Factor de Frecuencia, Caso Lognormal”*. Ingeniería Hidráulica en México (ISSN 0186-4076). Vol. XIV, Nº 3, septiembre-diciembre, pp. 37-44. D. F., México.
- Caamaño Nelli, G.; C. M. García y C. M. Dasso** (1998) *“Zonalización de Tormentas de Diseño para la Provincia de Córdoba, Argentina”*. II Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur. Vol.2, 168-178. Santa Fe, Argentina.
- (1999) *“Estimación de la Precipitación Máxima Probable (PMP) en 24 Horas para la Provincia de Córdoba, Argentina”*. Congreso Argentino de Grandes Presas y Aprovechamientos Hidroeléctricos. Memorias, 69-78. San Martín de los Andes, Argentina.
- (2000) *“Variación de la PMP con la Duración de Lluvia: Contraste de Estimadores en la Región Central de Argentina”*. XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Tomo II, 297-308. IARH. Córdoba, Argentina.
- Chow, Ven Te** (1951) *“A General Formula for Hydrologic Frequency Analysis”*. Transactions American Geophysical Union, Vol. 32. USA.
- García, C. M.; C. G. Catalini y G. Caamaño Nelli** (2000) *“Distribución Espacial de la Lluvia de Diseño en una Cuenca de Montaña”*. XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Tomo II, 309-318. IARH. Córdoba, Argentina.
- Hershfield, D. M.** (1961) *“Estimating the Probable Maximum Precipitation”*. Journal of Hydraulic Division, ASCE, Vol. 87. USA.
- (1965) *“Method for Estimating Probable Maximum Precipitation”*. Journal of Am. W. W. Assn., 57. USA.
- (1981) *“The Magnitude of the Hydrological Frequency Factor in Maximum Rainfall Estimation”*. Hydrological Sciences Bulletin, 26, 2, 6/1981. Pp. 171-177. USA.
- Mc Kay, G. A.** (1973) *Precipitation*, Section II in: Handbook of the Principles of Hydrology. D.M. Gray (ed.) National Res. Council of Canada. Water Inf. Center. New York, USA.
- Rodríguez, R. M.** (2004) *“Estimación de Umbrales de Inundación a partir de las Lluvias de Diseño. Desarrollo Metodológico y Aplicación en el Río San Antonio”*. Trabajo Final de la Carrera de Ingeniería Civil, FCEfYN, UNC. Córdoba, Argentina.
- Wiesner, J. C.** (1970). *Hydrometeorology*. Editorial Chapman & Hall Ltd. London, UK.
- WMO** (1973) *Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation*. World Meteorological Organization. Geneva, Schweiz.