

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

XVII CONGRESO CHILENO DE HIDRÁULICA

**PREDICCIÓN DE LLUVIAS PARA DISEÑO Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL
EN UNA CUENCA SERRANA DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA, ARGENTINA**

**CLARITA MARÍA DASSO⁽¹⁾
GABRIEL CAAMAÑO NELLI⁽¹⁾
LAURA COLLADON⁽¹⁾**

RESUMEN

Los desastres de origen hídrico, como las inundaciones repentinas, responden a amenazas que no pueden ser neutralizadas, puesto que difícilmente es factible intervenir en su génesis, aunque en algunos casos resulta posible controlar parcialmente sus efectos. Tanto para diseñar las obras como para prevenir los daños por inundación, se requiere estimar los caudales de proyecto, principal requerimiento ingenieril para diseño y planificación territorial. La insuficiencia de series hidrométricas estadísticamente aptas lleva a estimarlos indirectamente a través de modelos lluvia-escurrimientos alimentados por eventos hipotéticos críticos: las lluvias de diseño. Estas lluvias representan un patrón sintético a futuro y su predicción requiere estimar la magnitud, duración y probabilidad de la lámina precipitada, la distribución temporal interna y la atenuación areal. En este estudio se predicen lluvias de diseño para ser utilizadas en el dimensionamiento de obras de infraestructura y en la planificación territorial de la cuenca de Alpa Corral, principal centro turístico del circuito serrano sur de la Provincia de Córdoba, Argentina. Las técnicas y metodologías empleadas para generar la función intensidad (i)-duración (d)-recurrencia (T), el hietograma tipo, la función de decaimiento areal y la Precipitación Máxima Probable (PMP), han sido desarrolladas y aplicadas con buen suceso en la región central de Argentina. Los resultados aportan los elementos suficientes para abordar la evaluación del riesgo hídrico de origen pluvial en áreas urbanas y rurales de la cuenca, amenazadas por crecientes repentinas.

⁽¹⁾ Centro de la Región Semiárida (CIRSA) del Instituto Nacional del Agua (INA) - mail: cdasso@efn.uncor.edu

1. INTRODUCCIÓN

Los desastres de origen hídrico, como las inundaciones repentinas, responden a amenazas que no pueden ser neutralizadas, puesto que difícilmente es factible intervenir en su génesis, aunque en algunos casos resulta posible controlar parcialmente sus efectos.

Tanto para diseñar las obras como para prevenir los daños por inundación, se requiere estimar los caudales máximos que deben soportar. La creciente de proyecto, principal requerimiento ingenieril para planificación territorial y diseño de obras es de difícil obtención dada la escasés de mediciones hidrométricas para confeccionar series de caudales lo suficientemente extensas, que permitan estimar descargas máximas con probabilidades asociadas (período de retorno o recurrencia). Esto explica el interés de técnicas para estimar caudal a partir de otra variable de registro más simple y, por lo tanto, más denso y extenso: la lluvia.

Los modelos de transformación lluvia-caudal, utilizados para generar caudales máximos, se alimentan con un patrón pluvial sintético, la Lluvia de Diseño, que representa un evento hipotético crítico futuro. El elemento básico de este evento es su magnitud, dada por la intensidad media i , que se expresa en función de su duración d y su recurrencia T prefijadas, mediante una relación i - d - T . Para grandes obras, cuya falla implica serio peligro de pérdidas humanas, en vez de fijar la recurrencia se diseña para el peor escenario con la Precipitación Máxima Probable (PMP), a fin de minimizar el riesgo. Además, es clave inferir si la incidencia del cambio climático puede tornar efímera la validez de esos modelos basados en series históricas.

Una vez establecido el monto de la lluvia, se requiere definir la distribución temporal de la lámina durante el evento, a través de un hietograma tipo. Sólo series pluviográficas o de alta frecuencia, medidas en pocos sitios, permiten deducir tal información. Se requiere, entonces, de un mecanismo racional para transferir a los nodos más densos de la red pluviométrica el conocimiento provisto por el análisis pluviográfico. Por otra parte, como las mediciones son puntuales y, por ende, una muestra territorial muy pequeña, se requiere un criterio para atenuar las lluvias predichas, de modo que representen la lámina media sobre la cuenca en estudio.

El objetivo de este trabajo es predecir lluvias de diseño a fin de generar caudales máximos para ser utilizados en el dimensionamiento de obras de infraestructura y en la planificación territorial de la cuenca de aporte a la localidad turística de Alpa Corral, Provincia de Córdoba, Argentina.

Este estudio forma parte de un proyecto financiado por el Instituto Nacional del Agua (INA) cuya finalidad es integrar los aspectos geomorfológicos e hidrológicos en la predicción y mitigación de crecientes repentinas en áreas serranas. Las técnicas y metodologías de cálculo empleadas para generar y estimar los distintos componentes de las lluvias de diseño, han sido desarrolladas (Caamaño Nelli y Dasso, 2003) y aplicadas con buen suceso en la región central de Argentina.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA FÍSICO

La denominada Cuenca de Alpa Corral, con 194 km², toma su nombre debido a su principal centro urbano, la localidad turística homónima, ubicada sobre las márgenes del río Las Barrancas, principal colector de la cuenca (Figura1). Hidrográficamente este sistema constituye las nacientes noroeste del Río Cuarto o Chocancharava quien junto con el Río Tercero o Catlamochita, forman el Río Carcarañá, que desagua finalmente en el Río Paraná afluente del macrosistema del Río de la Plata.



Figura 1. Cuenca de Alpa Corral y ubicación de la Estación Las Albahacas con Función i-d-T

La cuenca tiene sus nacientes sobre la vertiente oriental de la Sierra de Comechingones, a una altitud media de 1700 m snm y la conforman las cuencas de los arroyos Zaramora al norte y Talita al sur, quienes al confluir dan origen al río Las Barrancas.

En general la cuenca presenta características morfoestructurales propias de las Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. El predominio de rocas cristalinas ígneas y metamórficas y la escasez de sedimentos friables, le confieren un basamento de baja permeabilidad con buen grado de estabilidad geológica.

Desde el punto de vista geomorfológico Barbeito et al. (2007) distingue cuatro unidades de relieve basadas en la naturaleza de los materiales geológicos, la morfología del paisaje y los procesos morfodinámicos. La red de drenaje, de alta densidad, está fuertemente controlada por la tectónica regional y local. Los cursos fluviales, de origen pluvial, corren encajonados en valles tipo V, de altas pendientes, dando predominio a los procesos de arrastre sobre los de deposición.

El clima de la cuenca es de tipo templado, con inviernos fríos, relativamente secos, y veranos cálidos y húmedos. La precipitación media es de 800 mm anuales, con un período de lluvias concentrado en el ciclo estival de noviembre a marzo.

Las precipitaciones están asociadas a procesos de carácter frontal y convectivos de mesoescala con efecto orográfico, siendo este último el generador de lluvias intensas muy localizadas. Esto conlleva a una respuesta hidrológica de características torrenciales, con crecidas repentinas de gran magnitud.

La pujante localidad de Alpa Corral, con aproximadamente 5000 habitantes, se ha visto amenazada en los últimos años por inesperadas crecientes de alto poder destructivo, que si bien no arrojaron pérdida de vidas humanas provocaron importantes daños económicos.

El asentamiento urbano, emplazado sobre ambas márgenes del río Barrancas ocupa una posición geomorfológica vulnerable, condicionado por las características físicas y dinámicas del ámbito fluvial.

Las áreas inundables por la acción del río, corresponden a tres unidades hidrogeomorfológicas bien definidas: un lecho ordinario, y dos niveles de terrazas activas (Barbeito et al.,2007). Cuando el lecho ordinario supera la capacidad de conducción, se activa la totalidad de la terraza inferior actuando como lecho episódico de las crecientes extremas.

Estos aspectos no han sido lo suficientemente considerados en la planificación urbana, quedando sectores de la localidad expuestos a esta amenaza, hecho corroborado en la creciente del 26 de noviembre de 2004, ocasionada por una lluvia local del orden de los 140 a 150 mm distribuidos en 3 a 4 hs. que generó un caudal máximo estimado en cerca de 1000 m³/s (Castelló et al, 2005).

Al igual que en otras cuencas de la región, los registros hidrológicos han sido interrumpidos en décadas pasadas y sólo se dispone en el presente de una serie histórica de valores medios mensuales en el Río Barrancas, para un período discontinuo comprendido entre los años hidrológicos 1938/39-1979/80 que no permite estimar caudales de proyecto.

Según las Estadísticas Hidrológicas (2004) el caudal medio anual del Río Barrancas para el período histórico mencionado es de 4 m³/s, con un caudal máximo medio diario de 145 m³/s y mínimo medio diario de 0,48 m³/s.

En cuanto a la precipitación no se registran mediciones históricas en la cuenca media y alta. En la localidad de Alpa Corral se tienen unos pocos registros pluviométricos entre 1990-95.

De la red de estaciones con Lluvias de Diseño en la Provincia de Córdoba, la estación pluviométrica Las Albahacas (Figura 1), distante a unos 30 km al sur de la localidad de Alpa Corral, es la más cercana con información básica para este tipo de estudio.

Posee una serie de lluvias máximas diarias anuales de 53 años, comprendida en el período hidrológico 1941/42 al 1994/95. Constituye una estación satélite (pluviométrica) perteneciente a la Zona Sierras cuya Estación Base (pluviográfica) para la transposición de los parámetros de diseño, es la Estación La Suela.

3. METODOLOGÍA DE APLICACIÓN

La metodología empleada en la síntesis de las lluvias de diseño contempló los aspectos que se describen a continuación.

Estacionariedad de la serie de lluvia máxima diaria anual

Para analizar la estacionariedad de la serie a utilizar en la predicción, se aplicaron dos tipos de tests estadísticos: uno paramétrico y otro no paramétrico. El primero consistió en especificar una hipótesis acerca de la población, que fue probada a través de la pendiente de la recta de regresión entre los eventos observados y su año de ocurrencia cuyo estadístico de prueba tiene distribución t de Student. Se asumió para ello un valor de significancia (α), de 0,01 (1%)

La Figura 2 muestra la recta de regresión entre los datos observados y los años de la serie, con su respectivo coeficiente de determinación (R^2), pendiente (b) y estimador estadístico (p).

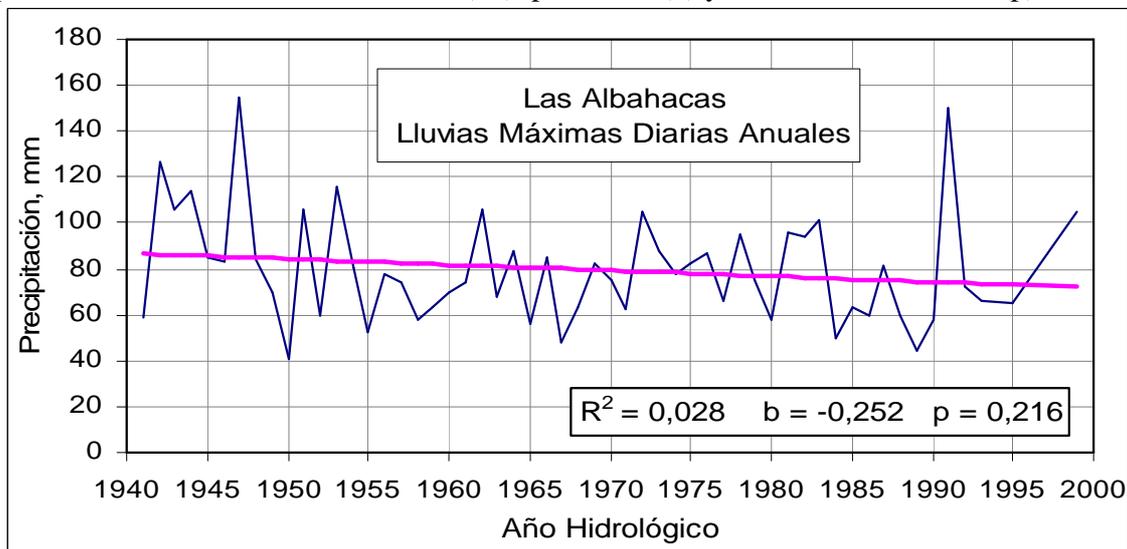


Figura 2. Lluvias máximas diarias anuales en Las Albahacas y recta de regresión

Si bien el valor muestral de la pendiente (b), no es nulo, el resultado de la prueba de hipótesis determinó que no es estadísticamente significativo, para un intervalo de confianza de 1% ($p > 0,01$), lo cual permite inferir la estacionariedad de la serie. Por su parte, el test no paramétrico de Mann-Kendall, reforzó la certeza de homogeneidad de la serie, al no rechazar la Hipótesis Nula (H_0), como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados del test no paramétrico Mann- Kendall

Test de hipótesis	Mann-Kendall	
Condiciones de ensayo	$\alpha = 0,01$	H_0 : serie Estacionaria
(1941-1991)	V_{obs}	Decisión sobre H_0
Máximos diarios	1,649	No rechazada

Transposición de la Función i-d-T por Zonalización

La relación i-d-T fue generada con el *Modelo DIT* (Caamaño Nelli y García, 1999), algoritmo estadístico que reúne las tres variables en una expresión analítica e identifica la influencia de la lluvia diaria en el vínculo, mediante la expresión:

$$\ln i_{d,T} = A \cdot F_y - B \cdot d_y + C \quad (1)$$

siendo:

$i_{d,T}$: la intensidad media de la mayor lluvia, de duración d , esperable en el período de retorno, T

F_y : el *factor de frecuencia* (Chow, 1959) y

d_y : el *factor de persistencia*

definidos como:

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

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

Los cuatro parámetros del modelo son **A**, **B**, **C** y **q**. El exponente **q** y el coeficiente **B** son constantes zonales. Los parámetros **A** y **C**, en cambio, tienen sentido físico, ya que dependen de las características locales de la lluvia. Pueden deducirse a partir de la media (μ) y el desvío estándar (σ) de los logaritmos de la serie de láminas máximas diarias anuales.

Esa propiedad permite transponer la función i-d-T desde una estación pluviográfica base calibrada a una estación satélite (pluviométrica), rectificándola de acuerdo a las características de la serie medida en esta última, mediante la técnica de *Zonalización* (Dasso, 2003). Esta técnica mixta combina una división zonal con una transferencia paramétrica dentro de la zona.

En este caso particular la transposición por zonalización se hizo desde la Estación La Suela a la Estación Las Albahacas, ambas en la denominada Zona Sierras en el estudio de Lluvias de Diseño en la Provincia de Córdoba. Los valores de los parámetros zonales del DIT para la Zona Sierras son: $q = q' = 2,14$ y $B = B' = 4,65$. Los parámetros A y C calibrados en La Suela y transpuestos a Las Albahacas, junto con los estadísticos de las series y la ubicación geográfica de ambas estaciones, se dan en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros transpuestos del Modelo DIT

ESTACIÓN BASE				Parámetros del DIT			
				μ	S	A	C
La Suela (CIRSA-INA)	31° 38' S	64° 35' O	892 m snm	4,18	0,42	0,36	4,65
ESTACIÓN SATÉLITE				Parámetros Transpuestos			
				μ'	S'	A'	C'
Las Albahacas (DIPAS)	32° 51' S	64° 51' O	900 m snm	4,32	0,29	0,24	4,78

Predicción de lluvias con el Modelo DIT

Una vez obtenido los parámetros del Modelo DIT, aplicando luego las ecuaciones (1), (2) y (3) se obtiene la intensidad media para cualquier duración y recurrencia deseada. La Figura 3 exhibe las trazas de las curvas i-d-T transpuestas en la Estación Las Albahacas, para duraciones hasta 180 minutos (izquierda) y desde esa duración hasta 1440 minutos (derecha).

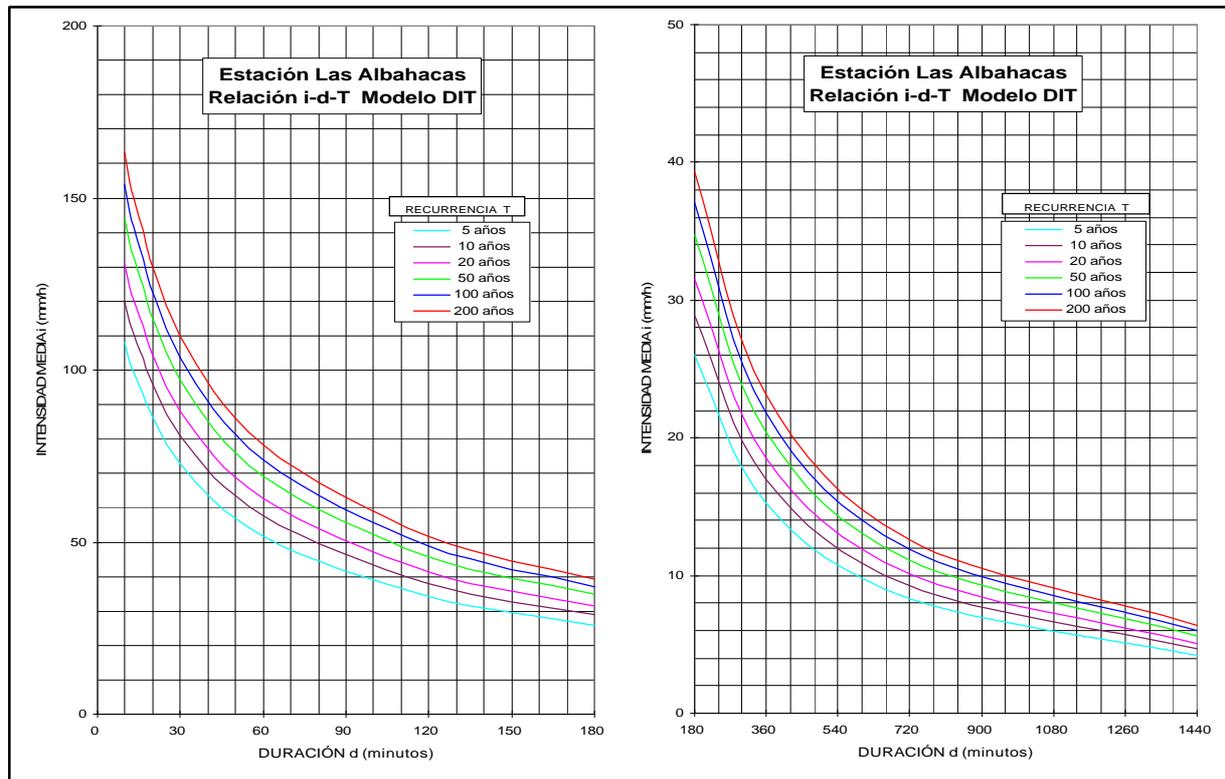


Figura 3. Relación i-d-T transpuesta en la Estación Las Albahacas. Zona Sierras.

En la Tabla 3 se dan los valores equivalentes de intensidades en láminas medias máximas de lluvias para distintas duraciones y recurrencias predichas con el Modelo DIT en Las Albahacas.

Tabla 3. Láminas de lluvias máximas predichas en Las Albahacas

Recurrencia T (años)	duración d, en minutos							
	15	30	60	120	180	360	720	1440
Láminas Medias Máximas en mm								
2	19,5	29,8	42,4	56,2	64,0	75,2	81,9	82,6
5	23,8	36,4	51,8	68,5	78,0	91,8	100,0	100,8
10	26,5	40,4	57,5	76,2	86,7	102,0	111,1	112,0
25	29,6	45,2	64,4	85,2	97,0	114,1	124,3	125,3
50	31,8	48,6	69,2	91,6	104,3	122,6	133,6	134,7
100	34,0	51,9	73,8	97,7	111,2	130,8	142,5	143,7
200	36,0	55,0	78,3	103,6	118,0	138,7	151,2	152,4

Atenuación de láminas de lluvia con el Modelo CoDA

Las lluvias máximas puntuales predichas localmente en la estación Las Albahacas con el modelo DIT, fueron atenuadas espacialmente a condiciones medias areales para la cuenca.

El modelo de atenuación espacial denominado *CoDA*, fue desarrollado y calibrado en la cuenca serrana del Río San Antonio de 500 Km² (García et al. 2000; Catalini et al. 2002). Los eventos de lluvia considerados fueron los intervalos de Intensidad Máxima Anual (IMA) de distintas duraciones registrados en la cuenca en una estación de lluvia de alta frecuencia temporal.

Tras el ensayo de distintos tipos de funciones que ligan el coeficiente de decaimiento areal, con el área y la duración de la lluvia. El algoritmo resultante es una función potencial del área y responde a la expresión:

$$CDA = 25^{-k} \cdot A^k \quad (4)$$

Donde

CDA: es el coeficiente de decaimiento areal

A: es el área de la cuenca

k: es el parámetro del modelo, ajustado en función de la duración de la lluvia, *d*, igual a:

$$-k = 2,1438 \cdot d^{-0,4774} \quad (5)$$

Esta expresión es válida cuando $A > 25 \text{ km}^2$ y $k < 0$. La estructura asume que el valor de la lámina local de lluvia es un estimador válido en toda el área, cuando *A* es menor que 25 km², y más allá decae. De modo que, para $A = 25 \text{ km}^2$, $\ln CDA = 0$ y $CDA = 1$.

Los valores del parámetro $-k$ y de los coeficientes *CDA* resultantes para distintas duraciones y una superficie de 194 km² (cierre de la cuenca) se dan en la Tabla 4, al igual que las láminas atenuadas para distintas recurrencias.

Tabla 4. Coeficiente *CDA* y láminas atenuadas para la cuenca de Alpa Corral

duración <i>d</i> , en minutos								
	15	30	60	120	180	360	720	1440
-k	-0,588	-0,423	-0,304	-0,218	-0,180	-0,129	-0,093	-0,067
CDA	0,299	0,421	0,537	0,640	0,692	0,768	0,827	0,872
T (años)	láminas atenuadas, en mm							
2	5,8	12,5	22,8	35,9	44,3	57,7	67,8	72,1
5	7,1	15,3	27,8	43,8	54,0	70,4	82,7	87,9
10	7,9	17,0	30,9	48,7	60,0	78,3	91,9	97,7
25	8,9	19,0	34,6	54,5	67,1	87,6	102,8	109,3
50	9,5	20,4	37,1	58,6	72,2	94,1	110,5	117,5
100	10,2	21,8	39,6	62,5	77,0	100,4	117,9	125,4
200	10,8	23,1	42,0	66,3	81,6	106,5	125,0	133,0

Distribución temporal interna de la lluvia

Los patrones temporales a usarse en esta cuenca, corresponden a los hietogramas sintetizados de intervalos de IMA en la Estación Base La Suela (Dasso y Caamaño Nelli, 2005) que representa las particularidades de las lluvias en el área serrana de la provincia. En cuanto a la duración, se seleccionaron hietogramas de IMA entre 30 y 360 minutos, duraciones que reflejarían mejor la distribución temporal interna de las lluvias de la cuenca.

La Figura 4 muestra los hietogramas tipo de diseño para duraciones de 30, 60, 120 y 360 minutos sintetizados con la técnica del ordenamiento de intervalos (Pilgrim and Cordery, 1975).

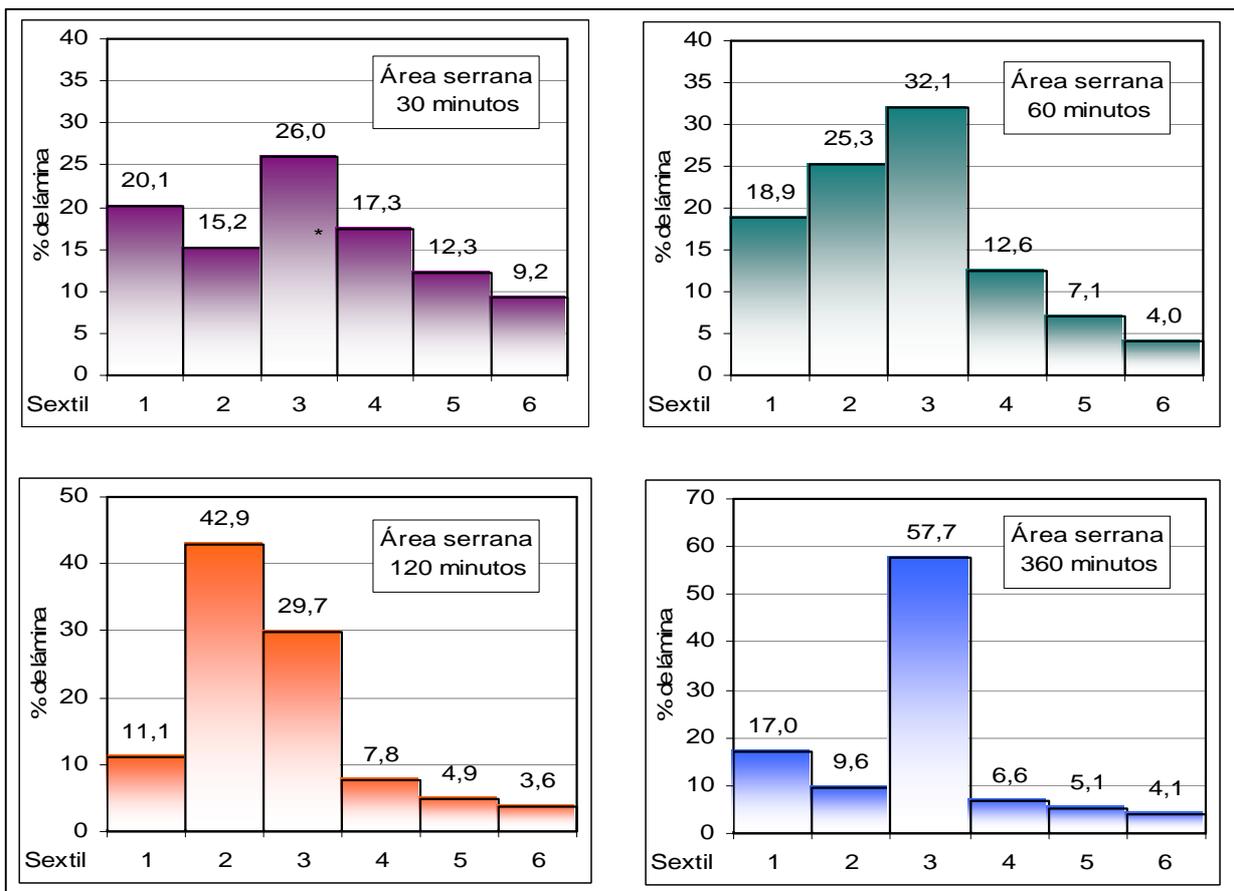


Figura 4. Hietogramas de diseño adimensionales para la Cuenca de Alpa Corral

Estimación de la Precipitación Máxima Probable (PMP)

La PMP se estimó con el método estadístico (Hershfield, 1961,1981) que se basa en minimizar la probabilidad de ocurrencia de la lluvia, maximizando el factor de frecuencia en la ecuación general de Chow (1953), por lo que la precipitación máxima probable se puede expresar como:

$$PMP = m_y + \Phi_{PMP} \cdot s_y \quad (6)$$

El método de Hershfield estima F_{PMP} a partir de valores F_{n-1} , donde el subíndice $n-1$ simboliza que, al calcular la media y el desvío estándar, se excluye la mayor lámina, y_m , de la serie anual de lluvia de cada puesto de una región, maximizando el valor del factor de frecuencia, como indica la siguiente ecuación:

$$\Phi_{n-1} = \frac{y_m - m_{n-1}}{s_{n-1}} \quad (7)$$

El efecto de ésta corrección equivale a medir el máximo de lluvia después de que μ_n y σ_n están calculados. Simula cómo varían los estadísticos al agregar una lluvia mayor, usando y_m en la serie trunca en vez de PMP en la serie total. Graficando los pares F_{n-1} versus μ_n (serie completa) de todos los pluviómetros de una región, se asume que su envolvente, F_{PMP} , refleja la PMP regional, en función de la media de máximos diarios de lluvia anual.

Las experiencias para el territorio de la Provincia de Córdoba, permitieron deducir la envolvente regional (Caamaño Nelli et al.1999, 2000) que responde a la ecuación exponencial:

$$\Phi_{PMP} = \Phi_0 \cdot e^{-k \cdot \mu_n} \quad (8)$$

con parámetros $F_0 = 30,88$ y $k = 0,018$.

La estimación de la PMP diaria, se puede realizar entonces con la ecuación (6). Para lapsos de tiempo menores, la PMP diaria se debe multiplicar por el cociente zonal entre láminas máximas de ambas duraciones. La Tabla 5 da los valores de F_{PMP} , la PMP de 24 horas de duración y la derivada luego para 12 horas, para la Estación Las Alhacacas.

Tabla 5. PMP en mm para 12 y 24 horas y estadístico empleados en el cálculo

ZONA	N°	ESTACIÓN	μ_n 1día	σ_n 1día	μ_n 24hs	σ_n 24hs	F_{PMP}	PMP _{1d}	PMP _{24h}	PMP _{12h}
Sierras	108	Las Alhacacas	78,58	21,96	84,53	23,62	7,24	238	256	241

4. RESULTADOS

El análisis de la tendencia climática de la serie de Lluvias Máximas Diarias Anuales de Las Alhacacas (Figura 2), examinada con el test paramétrico t de Student, para un valor de significancia del 1%, demostró estacionariedad de la serie ($p = 0,216$) en concordancia con el comportamiento regional de las lluvias máximas anuales que no presentan tendencias positivas definidas, dando así validez a futuro a las predicciones de intensidad.

La función i-d-T generada en Las Alhacacas por transposición del Modelo DIT (Figura 3), exhiben isóneas de igual recurrencia en el plano i-d, para T de 5 a 200 años. Las intensidades medias máximas predichas alcanzan valores máximos de 73 mm/h en 30 minutos para recurrencia de 5 años aumentando a 103 mm/h para la centenaria. Para iguales recurrencias pero duración de 3 horas decaen a 26 mm/h y 37 mm/h respectivamente. En el caso particular de una lluvia de 12 horas de duración, la intensidad media máxima para una recurrencia de 20 años es de 10 mm/h.

Estas intensidades locales expresadas en altura de lámina (Tabla 3) fueron luego transformadas a valores medios areales (Tabla 4) a través de un coeficiente de decaimiento areal obtenido por el Modelo CoDA con la finalidad de obtener valores a nivel de cuenca para la modelación lluvia-escorrentamiento. Estos coeficientes variaron de 0,3 a 0,87 para láminas de 15 a 1440 minutos de duración respectivamente.

Para obtener el hietograma de diseño dimensionalizado, que servirá de entrada en los modelos de transformación, las láminas de una duración y recurrencia dada, abatidas para la cuenca, deben ser escaladas según el patrón tipo adimensional (Figura 4) de la correspondiente duración.

En cuanto a la utilidad de estos resultados, cabe destacar que las intensidades medias máximas (o las láminas) de corta duración y bajas recurrencias tienen provecho directo en el diseño urbano, donde es habitual utilizar valores inferiores a 1 hora de duración y recurrencias de 2 a 50 años.

Para las grandes superficies, típicas de la planificación rural, se hace necesario en cambio, el uso de duraciones más elevadas. Aunque no hay estándares precisos en cuanto a esto, cabe comentar que en cuencas de tamaño comparable, enclavadas en ambientes muy similares al de esta cuenca se han justificado y empleado lluvias de 2 a 4 horas de duración.

En cuanto al período de retorno, depende de la importancia de la estructura o medida que motiva el estudio. De especial interés es la lluvia con recurrencia 25 años, cuya crecida define la línea de ribera en el territorio de la Provincia de Córdoba.

Otros umbrales de interés legal, que permiten deslindar el dominio público del privado, o restringir el uso del suelo, son los caudales asociados a lluvias de 100 y 200 años de recurrencia cuyas crecidas asociadas permiten delimitar márgenes inundables en zonas de vulnerabilidad hídrica (Caamaño Nelli et al. 2006).

Por otra parte el valor estimado para 200 años, que puede parecer excesivo cuando se parte de la función $i-d-T$ y no de una fracción de la PMP, ha sido holgadamente respaldado en análisis previos para ser usado en estructuras que deberán soportar los efectos de lluvias con recurrencia entre 100 y 1000 años.

La Precipitación Máxima Probable, en tanto, estimada en 256 mm para 24 horas y 241 mm para 12 hs sólo sería de utilidad para el caso de grandes emprendimientos hídricos en la región, con un alto riesgo asociado.

5. CONCLUSIONES

Se han estimados lluvias de diseño para distintas combinaciones de duración y recurrencia en la cuenca serrana de Alpa Corral. Estas lluvias serán el insumo básico de entrada a los modelos de transformación lluvia-escorrentía que permitirán inferir caudales de diseño y prevenir el riesgo de inundaciones urbanas ribereñas asociadas a la recurrencia de lluvias extremas.

Al igual que en otras áreas serranas de la región, esta cuenca ha experimentado importantes niveles de intervención antrópica y se encuentra expuesta a que esa tendencia se incremente en un

futuro próximo. El pujante desarrollo socio económico y turístico de la zona exige conocer los niveles de riesgo ante crecientes repentinas en sus áreas pobladas, y constituye un desafío para la toma de medidas de prevención en el corto, mediano y largo plazo.

En ese sentido este estudio aporta los elementos suficientes para abordar la evaluación del riesgo hídrico de origen pluvial, el dimensionamiento de obras de infraestructura y la planificación territorial del uso del suelo urbano y rural en el área serrana y pedemontana del circuito turístico sur de la Provincia de Córdoba.

REFERENCIAS

Barbeito, O., Ambrosino, S., Ugarte, R., y N. Boaglio 2007. Evaluación Geomorfológica de la Amenaza por Crecientes Repentinas en Alpa Corral, Provincia de Córdoba. XXII Congreso Nacional del Agua. CPCNA. Tucumán, Argentina.

Caamaño Nelli, G. y C. Dasso. 2003. Lluvias de Diseño: Conceptos, Técnicas y Experiencias. Editorial Universitas. 222 páginas. ISBN: 987-9406-43-5. Córdoba, Argentina.

Caamaño Nelli, G.; C. García y C. Dasso. 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, pp. 69-78. S. M. de los Andes, Argentina

Caamaño Nelli, G.; García, C. y Dasso, C. 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

Caamaño Nelli, G.; C. García. 1999 Relación Intensidad-Duración-Recurrencia de Lluvias Máximas: Enfoque a través del Factor de Frecuencia, Caso Lognormal. Ingeniería Hidráulica de México. Vol. XIV, N°3, 37- 44. D.F., México.

Caamaño Nelli, G.; R. Rodríguez; L. Colladon y C. Dasso. 2006. Márgenes Inundables de Interés Legal: Caracterización para la Provincia de Córdoba. I Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua. ProDTI- Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), UNC. Córdoba.

Caamaño Nelli, G.; Vélez, E. y Barbeito, O. 2004. Inundaciones Repentinas en las Sierras de Córdoba. Jornadas de Riesgo Hídrico, Inundaciones y Catástrofes. Instituto Argentino de Recursos Hídricos-Centro Argentino de Ingenieros. Buenos Aires, Argentina.

Castelló, E.; Corral, M.; Barbeito, O. y Ambrosino, S., 2005. Estudio hidrológico de la cuenca de Alpa Corral. Dirección Provincial de Agua y Saneamiento, Córdoba, Argentina. Inédito.

Catalini, C. G.; G. Caamaño Nelli y C. M. García. 2002. Curvas de Decaimiento Areal de Lluvias de Diseño: Efectos de la Topografía y el Clima sobre su Forma. XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. La Habana, Cuba.

Colladon, L. y G. Caamaño Nelli. 2001. Tendencias Climáticas en Lluvias Máximas del Centro de Argentina. IV Diálogo Interamericano de Gerenciamento de Águas. p 98. Foz de Iguaçu, Brasil.

Chow, V. T.; 1959. Determination of Hydrologic Frequency Factor. Proceedings American Society of Civil Engineers. Jour.of Hydraulic Division. Vol. 85, N° HY7 USA.

Dasso, C. M.; 2003. Transposición de Lluvias con objetivos de Diseño Capítulo 7. En Lluvias de Diseño: Conceptos, Técnicas y Experiencias, pp85-98.

Dasso, C. M. y G. Caamaño Nelli. 2005. Distribución Sintética de lluvias intensas en el Área Serrana de la Provincia de Córdoba, Argentina. XXI Congreso Nacional del Agua y III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur. Libro de Resúmenes, p 320, Trabajo en CD. Mendoza, Argentina.

García, C. M.; Catalini, C. G. 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.

Hershfield, D. M.1961. Estimating the Probable Maximum Precipitation. Journal of Hydraulic Division, Vol. 87. ASCE. USA.

Hershfield, D. M; 1981. The Magnitude of the Hydrological Frequency Factor in Maximum Rainfall Estimation. Hydrological Sciences Bulletin, 26, 2, 6/1981. Pp. 171-177. USA.

MPFIP y S – SOP - SRH. 2004. Estadística Hidrológica de la República Argentina. Edición 2004. CD ROM. Buenos Aires. Argentina

Pilgrim, D.; I. Cordery. 1975. Rainfall Temporal Patterns for Desing Flood. Journal of Hydraulics Division. Amer. Society of Civil Engineering, Vol 101, N° Hy1, 81-95. USA.