

**XXII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA  
CIUDAD GUAYANA, VENEZUELA, OCTUBRE 2006**

**PRONÓSTICO PRELIMINAR DE CRECIDAS EN TIEMPO PSEUDO REAL  
EN UNA CUENCA DE LLANURA**

***Carlos M. Scuderi<sup>(1)</sup>, Gerardo A. Riccardi<sup>(2)</sup>, Erik D. Zimmermann<sup>(3)</sup>***

*Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales (CURIHAM)*

*Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario*

*(1) Becario Doctoral CONICET, (2) Investigador CIUNR, (3) Investigador CONICET*

*Riobamba 245 bis (2000. Rosario, Argentina)*

*Telefax: +54+341-4808541. e-mail: cscuderi@fceia.unr.edu.ar*

**RESUMEN:**

El presente estudio utiliza un modelo hidrológico distribuido para realizar el pronóstico preliminar de crecidas en una cuenca de llanura fuertemente antropizada con el objetivo de implementar un sistema de alerta contra inundaciones. La cuenca del arroyo Ludueña con un área de 700 Km<sup>2</sup>, se encuentra situada en la provincia de Santa Fe, República Argentina. La metodología sugerida requiere información respecto de la distribución temporal y espacial de las precipitaciones, la condición de humedad antecedente del suelo, la topografía del terreno, el grupo hidrológico de los suelos y el uso de la tierra. Aunque los datos de precipitación y niveles de agua son escasos, los resultados obtenidos fueron validados con eventos observados en el año 1994 en condiciones de simulación a tiempo pseudo real. Los resultados se encuentran dentro de límites aceptables, con un error porcentual máximo en altura de agua de 20%. La distribución espacial de la lluvia, de la condición de humedad antecedente del suelo y del uso del mismo; presenta gran incertidumbre por lo que se recomienda efectuar el registro continuo de estas variables en campo con la finalidad de incrementar la eficiencia de su modelación y por consiguiente del pronóstico.

**ABSTRACT:**

The present study uses a hydrologic distributed model to make a preliminary prognosis of floods in a strongly antropized watershed with the objective to implement an alert system. The river basin of the Ludueña stream with an area of 700 Km<sup>2</sup>, is located in the province of Santa Fe, Argentine Republic. The suggested methodology requires information respect to temporary and space distribution of rainfall, ground antecedent moisture condition, topography, hydrologic soil group, and land uses. Although rainfall and water levels data are little, the obtained results were validated with events observed in year 1994, in conditions of pseudo real time simulation. The results are within acceptable limits with a maximum percentage error in water height of 20%. The space distribution of rain, ground antecedent moisture condition, and land uses present great uncertainty; reason why it is recommended to carry out the continuous registry of these variables in field with the purpose of increasing the efficiency of its modeling and therefore of prognosis.

**PALABRAS CLAVES:** cuenca, inundaciones, modelos hidrológicos distribuidos, sistema de alerta

## INTRODUCCIÓN

El proceso de urbanización observado en los países en desarrollo tiende a concentrar a la población en pequeñas áreas (Tucci y Bertoni, 2003), lo que a su vez trae aparejado diferentes problemáticas, entre ellas las inundaciones. La Llanura Pampeana, situada en la parte centro este de la República Argentina, es especialmente apta para el establecimiento de grandes núcleos urbanos por contar con tierras fértiles y fuentes seguras de agua para consumo humano. Estos hechos, junto a la creciente impermeabilización de los suelos y a la destrucción de los mismos debido a las prácticas agrícolas intensivas (principalmente de soja), hacen que la región sea vulnerable a las inundaciones. Tornándose, por ello, cada vez más importante la protección de la comunidad y de los bienes materiales contra estos eventos.

En los últimos veinte años han ocurrido severas inundaciones en centros urbanos de la región del sur y centro de la provincia de Santa Fe. Por ejemplo el desborde del A° Ludueña en el año 1986 que afectó unas 2000 ha y 80000 habitantes de la zona noroeste de la ciudad de Rosario (Riccardi et al., 2001), la crecida del A° Saladillo que afectó la ciudad de Villa Gobernador Gálvez en el mismo año, más recientemente los desbordes del A° Cañada de Gómez que atraviesa la ciudad homónima en el año 2000 en el que se produjeron 3 víctimas fatales y en el año 2003 el desborde del río Salado en la ciudad de Santa Fe, que se cobró 23 vidas humanas y afectó a 100000 personas (el 27% de la población total de la ciudad).

En este contexto se hace necesario implementar acciones tendientes a reducir o mitigar los impactos generados por las inundaciones. Estas acciones pueden clasificarse en estructurales, no estructurales y de prevención (Berga, 1995) detallándose en la Figura 1 algunos ejemplos. Las medidas estructurales buscan interferir en los fenómenos de formación y propagación de las inundaciones mediante la modificación de las características hidrológicas e hidráulicas de una cuenca. Por su parte las medidas no estructurales, cuyo objeto es impedir o reducir los daños producidos por las inundaciones, procuran la convivencia del espacio entre el hombre y el agua. Mientras que las medidas de prevención buscan anticiparse a la ocurrencia de las crecidas con el fin de minimizar el daño producido durante las mismas.



**Figura 1.-** Clasificación de medidas frente a inundaciones

Los sistemas de alerta, que se encuadran dentro de las medidas de prevención, requieren fundamentalmente rapidez de respuesta, es decir velocidad en la generación de resultados ya que su objetivo es lograr anticiparse a la ocurrencia del evento pronosticado. Además deben tener la suficiente precisión en la determinación de los niveles de agua para poder actuar en consecuencia según sea el grado de peligrosidad del fenómeno hidrológico. Estos requisitos constituyen la principal diferencia entre la modelación de sistemas de alerta y la clásica modelación hidrológica o hidráulica. Aldana Valverde (2002) enuncia las premisas que debe cumplir la modelación de sistemas de alerta para ser utilizada en tiempo real: (a) sencillez de operación, (b) precisión de resultados, (c) tiempo de ejecución breve y (d) capacidad de calibración automática de parámetros.

En la actualidad debido a los grandes avances logrados en electrónica, existen sistemas automáticos de información hidrológica que consisten en redes de sensores adecuadamente dispuestos en la cuenca que registran precipitaciones y niveles de agua en los cursos más importantes. Esta información es transmitida a un centro de control por vía telefónica o satelital donde los datos son almacenados para análisis posteriores y a su vez alimentan un modelo de previsión, que permite predecir los niveles de agua futuros que se tendrán en los cauces. Los modelos de previsión además pueden estar complementados por modelos de pronóstico de precipitaciones. Si bien estos sistemas son muy apropiados para conocer en tiempo real el estado hidrológico de la cuenca, tienen un elevado costo de implantación. Otro problema que experimentan es el vandalismo que sufren las instalaciones en campo, lo que eleva los costos de operación.

Los modelos de previsión pueden estar basados en modelos hidrológicos distribuidos o en modelos agregados. La potencialidad de los modelos hidrológicos distribuidos es lograr una mejor representación de la realidad buscando reproducir los mecanismos físicos internos que ocurren en una cuenca. Sin embargo la gran cantidad de datos requeridos para su funcionamiento (topografía, red de cursos, coeficientes de rugosidad, tipo de suelo, humedad del suelo, uso del suelo, obras hidráulicas, terraplenes, etc.) hace que la velocidad de cálculo, a veces, no sea la adecuada para predecir niveles con la debida rapidez. Con respecto a la velocidad de cálculo, los modelos agregados parecen ser superiores ya que por no requerir una elevada cantidad de datos para su funcionamiento, otorgan resultados en un tiempo menor. Entre estos modelos, tipo caja negra, se encuentran el modelo lineal ARMAX de tipo autorregresivo y las redes neuronales artificiales (García Bartual, 2002).

En relación a los datos de entrada necesarios, la mayor incertidumbre se tiene en la distribución espacial de la precipitación, mientras que el registro en los niveles de los cauces no posee mayores inconvenientes. Los modelos del terreno derivados de imágenes satelitales ó de radar son una buena herramienta para representar la topografía. En cuanto a los parámetros utilizados por estos modelos, tales como la condición de humedad antecedente del suelo o las rugosidades en cauces y valles, presentan también una gran dispersión espacial, debiendo ser ajustados con observaciones efectuadas en campo.

El objetivo del presente trabajo es establecer un procedimiento para el pronóstico preliminar de crecidas en tiempo pseudo real orientado a la posterior implementación de un sistema de alerta contra inundaciones. Para realizar el proceso de transformación de lluvia neta en escurrimiento superficial se adopta el modelo hidrológico-hidráulico distribuido desarrollado por Riccardi (2000). Para estimar la lluvia neta ó efectiva se propone el método del número de curva (CN) desarrollado en 1972 por el Soil Conservation Service. Como herramienta para el ingreso de información y procesamiento de resultados se utiliza una plataforma gráfica tipo “ventanas” programada en Visual Basic por Rentería y Stenta (2003).

Cabe destacar que el uso del suelo de la región en estudio, cuenca del A° Ludueña, ha sufrido un cambio sustancial a partir de la década del 70, donde se ha pasado del cultivo de pasturas para ganadería a una agricultura extensiva, lo que modificó la hidrología superficial de la cuenca. Parece ser que estos hechos han producido una disminución en el tiempo de concentración de la cuenca junto a una creciente impermeabilización (Zimmermann et al., 1995), con el consiguiente aumento de caudales y disminución en el tiempo de concentración del sistema. Esto ha llevado a los organismos gubernamentales municipales y provinciales a realizar obras estructurales, entre ellas una presa de retención de crecidas y canalizaciones parciales en los arroyos. Además se han elaborado medidas no estructurales como planos de mancha de inundación para varias recurrencias (Riccardi et al., 2001), con el objeto de reglamentar el uso del suelo en las zonas donde existe riesgo de anegamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área de estudio, cuenca del A° Ludueña (Figura 2), se encuentra situada entre los paralelos 32° 45' y 33° 08' S y los meridianos 61° 04' y 60° 39' O; perteneciendo a la provincia de Santa Fe, República Argentina. Su área de aporte es de 700 Km<sup>2</sup> y la elevación varía entre 70 m y 18 m sobre el nivel del mar. La red hídrica principal está constituida por el A° Ludueña y los canales Ibarlucea y Salvat, mientras que en épocas de lluvia se adicionan numerosos y pequeños cursos que aportan al escurrimiento encauzado. El suelo predominante es de tipo arcilloso-limoso presentando condiciones de permeabilidad moderada a moderadamente lenta (Pouey, 1998), con pendiente media del orden de 1,0 m/Km. La precipitación media anual es de 985 mm, distribuyéndose mayormente (62%) en el periodo primavera-verano correspondiente a los meses de octubre a marzo. Por otra parte, la región se encuentra atravesada por importantes terraplenes tanto viales como ferroviarios, lo que permite observar una fuerte acción antrópica ejercida sobre la cuenca. La agricultura constituye el principal uso del suelo, destacándose fundamentalmente la producción de soja, maíz y trigo. El porcentaje de impermeabilización de la cuenca se estima en 5% (aproximadamente 35 Km<sup>2</sup>) distribuido entre 9 centros poblados.

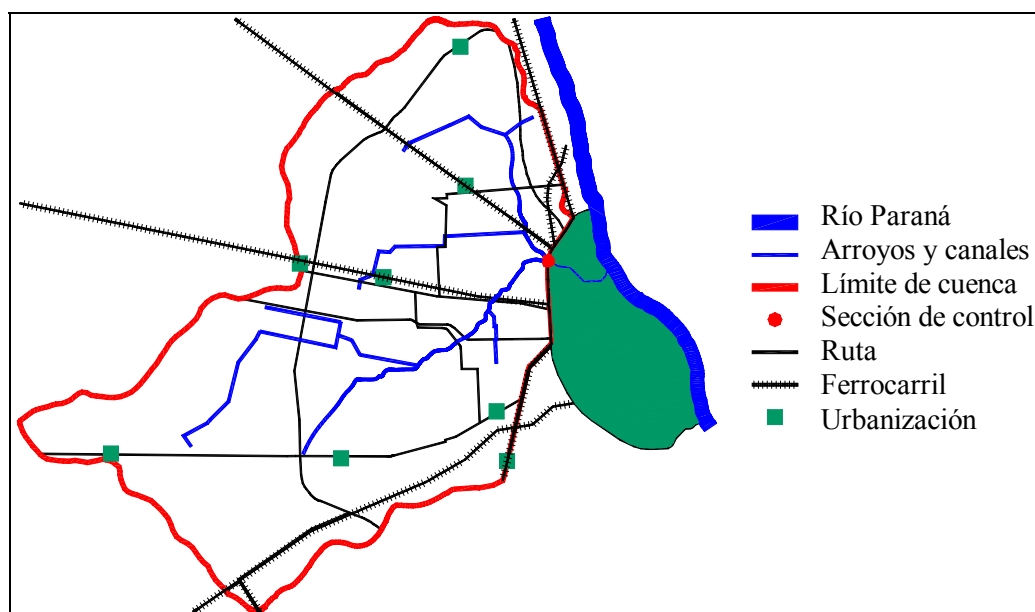


Figura 2.- Área de estudio

### Selección de precipitaciones

Debido a la escasez de información existente en la cuenca respecto de registros limnimétricos así como también de registros pluviométricos, se eligieron las 3 mayores precipitaciones registradas durante el año 1994, período en el cual se contaba con una estación limnimétrica situada en el punto señalado como sección de control en la Figura 2. Las principales características de los eventos seleccionados se presentan a continuación en la Tabla 1:

Tabla 1.- Características de los eventos seleccionados

Tormenta	Precipitación media [mm]	Duración [hs]	Cota de agua [m]	Tiempo de pico [hs]	Caudal pico [m <sup>3</sup> /s]
17-03-94	148.7	36.0	3.78	44.0	82.0
03-04-94	158.1	61.0	5.59	64.5	194.5
01-05-94	59.1	50.0	4.52	52.0	122.2

Se dispone de información pluviométrica con intervalos de una hora de duración, adquirida en tres puntos de la cuenca y cuya distribución espacial se realiza aplicando el método de polígonos de Thiessen. Los registros limnimétricos son convertidos en caudales utilizando la curva cota-caudal establecida con anterioridad para la sección de control.

### Cálculo de la precipitación neta

El término precipitación neta ó efectiva hace referencia a la lluvia que, descontadas las pérdidas por interceptación e infiltración, genera escurrimiento superficial. La metodología empleada para cuantificar estas pérdidas es el método del número de curva CN desarrollado por el Soil Conservation Service en 1972 (Chow et al., 1994). Este procedimiento plantea la siguiente relación:

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S} \quad [1]$$

donde **Pe** es la precipitación efectiva, **P** es la precipitación total ocurrida durante el evento, **Ia** corresponde a las pérdidas iniciales y **S** es la retención potencial máxima. El método introduce una relación empírica entre las pérdidas iniciales **Ia** y la retención potencial máxima **S**:

$$Ia = 0.2S \quad [2]$$

substituyendo la ecuación [2] en la ecuación [1], se obtiene:

$$Pe = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad [3]$$

De la representación gráfica de las cantidades **P** y **Pe**, el SCS estableció el número adimensional de curva CN ( $0 < CN < 100$ ). A medida que el valor de CN aumenta, mayor será la precipitación efectiva y por lo tanto mayor el escurrimiento superficial. Inversamente, valores altos de CN se corresponden con bajas tasas de retención potencial máxima. La relación entre CN y la retención potencial máxima S, se expresa como:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad [4]$$

Todas las magnitudes intervinientes en las ecuaciones [1] a [4] están expresadas en mm, excepto el número de curva CN. Además, debido a que la capacidad de infiltración del suelo depende del contenido de humedad presente en el mismo, anterior al evento, el SCS define tres grupos según la condición antecedente de humedad:

**Tabla 2.-** Condición antecedente de humedad

Grupo	Lluvia antecedente total de 5 días [mm]	
	Estación inactiva	Estación de crecimiento
I (seco)	< 12.7	< 35.6
II (normal)	12.7 a 27.9	35.6 a 53.3
III (húmedo)	> 27.9	> 53.3

El método ha sido desarrollado para el Grupo II, es decir para condición de humedad normal, mientras que para condiciones de humedad diferentes se proveen ecuaciones que permiten el cálculo del CN:

$$CN(I) = \frac{4.2 CN(II)}{10 - 0.058 CN(II)}, \quad CN(III) = \frac{23 CN(II)}{10 + 0.13 CN(II)} \quad [5]$$

### Pronóstico en tiempo pseudo real

El concepto de pronóstico en tiempo pseudo real plantea el hecho de que la predicción de niveles se realiza en forma inmediatamente posterior a la ocurrencia del evento, es decir no se ejecuta en tiempo real. Sin embargo, el tiempo de concentración de la cuenca del orden de 50 hs y la rapidez alcanzada en la ejecución de la predicción, unos 3 minutos en un computador tipo "Pentium IV", hacen que obtenido el hietograma de una tormenta y una vez descontadas las pérdidas iniciales y por infiltración, pueda predecirse con la suficiente anticipación el nivel a que llegará una crecida en la sección de control.

El proceso físico de la transformación de la lluvia neta en escurrimiento superficial se realiza con un modelo hidrológico distribuido basado en el esquema de celdas (Riccardi, 2000). El mismo permite calcular caudales y niveles de agua en cualquier punto del dominio, es decir de la cuenca. Para su funcionamiento requiere de un modelo topográfico del terreno (MDT), del hietograma neto de la tormenta a analizar y del coeficiente de rugosidad de Manning tanto para el valle como para los cauces.

El modelo topográfico del terreno fue obtenido a partir de un mapa de la cuenca con curvas de nivel equiespaciadas cada 2.5 m (Scuderi y Stenta, 2002), por lo que es considerado como de buen nivel de detalle. Es interesante destacar que podrían utilizarse MDT proporcionados por imágenes satelitales o radar, sin embargo en llanuras con escasa pendiente su precisión es discutible.

El cálculo de la precipitación neta, como se mencionó anteriormente, se realiza con el método del número de curva CN. Para la aplicación del mismo a las 3 tormentas que se tienen como dato, se realizó una modificación del método tradicional; la misma consiste en calcular la lluvia antecedente total de 30 días en vez de los 5 días propuestos en el método. Esto se debe a que el planteo de solo 5 días anteriores a los eventos producía lluvias netas muy pequeñas que no alcanzaban a generar los limnigramas observados. Una posible explicación para esta causa puede ser el tipo de suelo, arcilloso-limoso, de la cuenca el cual aparentemente posee gran capacidad de retención de humedad.

Para la elección del número de curva CN deben elegirse, además del valor de precipitación antecedente, el tipo de suelo y el uso que se hace del mismo. El tipo de suelo puede ser clasificado como perteneciente al grupo hidrológico C, mientras que el uso del suelo predominante de la cuenca es la agricultura, por lo que el valor del número de curva propuesto para la condición II es de CN(II)=78.0. Aplicando las ecuaciones [5] al valor de CN(II) adoptado, pueden obtenerse los valores de CN(I)=59.8 y CN(III)=89.1. Una vez obtenidos los CN para las distintas condiciones de humedad antecedente puede calcularse la precipitación neta. En la Tabla 3 pueden apreciarse las diferencias entre el método original y el modificado:

**Tabla 3.-** Modificación de precipitación antecedente (Pa) y precipitación neta (Pn) media obtenida

Tormenta	Pa 5 días [mm]	Grupo	CN	Pn media [mm]	Pa 30 días [mm]	Grupo	CN	Pn media [mm]
17-03-94	9.4	I	59.8	45.6	16.5	I	59.8	45.6
03-04-94	0.7	I	59.8	63.0	169.4	III	89.1	125.1
01-05-94	0.0	I	59.8	4.5	161.7	III	89.1	34.2

Los coeficientes de rugosidad de Manning fueron estudiados en trabajos anteriores (Riccardi et al., 2001; Riccardi et al., 2002) estableciendo un rango de variación para el coeficiente de rugosidad en valle de 0.100 a 0.300 y para los cursos de agua de 0.030 a 0.050. En este estudio se fijaron estos valores en 0.160 para el valle y 0.040 para los cursos de agua.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación (Figura 3) son presentados los resultados obtenidos en la sección de control para las tres tormentas, donde del lado izquierdo pueden apreciarse las curvas de altura en función del tiempo y del lado derecho los respectivos hidrogramas. Tener en cuenta que las gráficas comprenden un período de una semana, desde la ocurrencia de la tormenta. De la observación de las gráficas se comprueba que el pronóstico realizado para alturas (y como era de esperar también para caudales) con la modificación de la precipitación antecedente, proponiendo  $P_a=30$  días en lugar de  $P_a=5$  días, produce mejores resultados. Para las tormentas del 17-03-94 y del 03-04-94 se tiene que el pronóstico excede a los valores observados mientras que para la tormenta del 01-05-94 el pronóstico se encuentra por debajo del nivel observado. Al comienzo de cada gráfica se produce un período de tiempo donde tanto las alturas como los caudales son iguales a cero, este instante de tiempo se corresponde con el período de “calentamiento” del modelo de transferencia lluvia-escorrentamiento superficial.

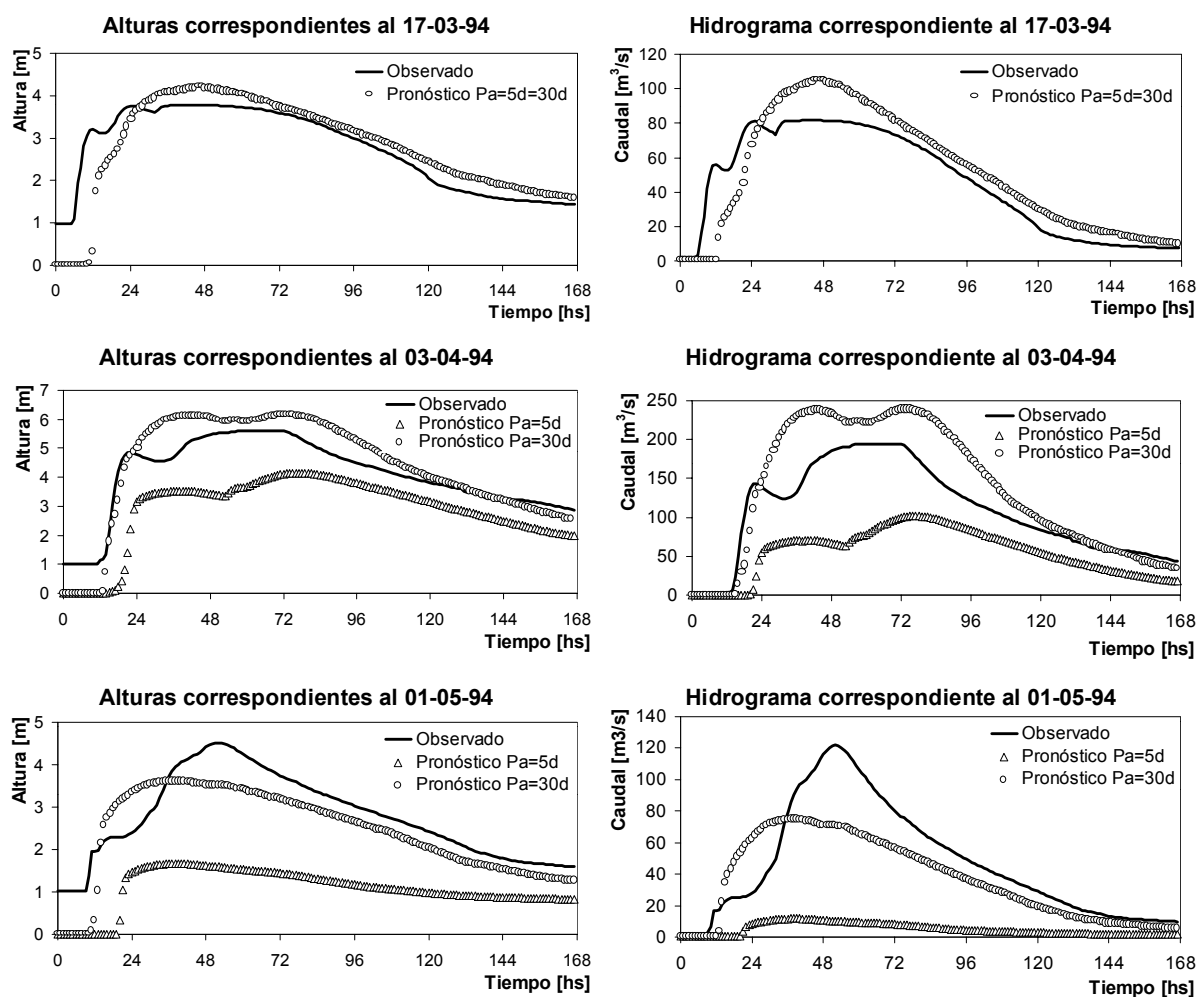


Figura 3.- Diagramas de altura e hidrogramas

En la Tabla 4 se exhiben, para cada tormenta, los valores de altura medida (H), los valores pronosticados con  $P_a=5$  días y  $P_a=30$  días y las diferencias tanto absolutas como porcentuales:

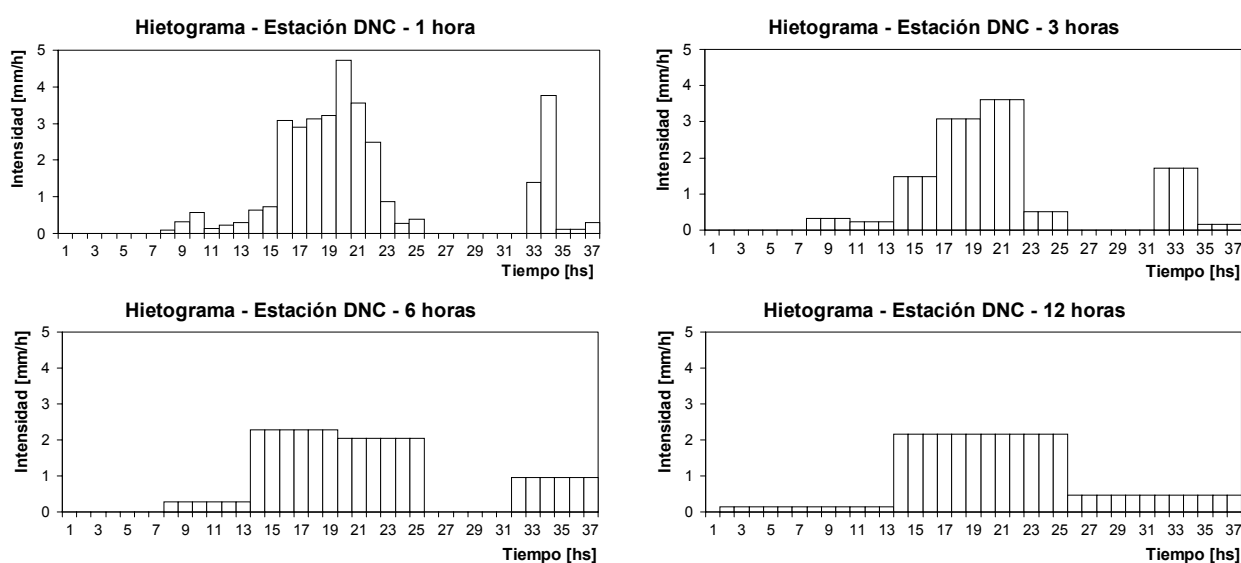
**Tabla 4.- Alturas observadas y pronosticadas**

Tormenta	H. medido [m]	Pronóstico Pa=5d	Diferencia [m]	Error (%)	Pronóstico Pa=30d	Diferencia [m]	Error (%)
17-03-94	3.78	4.21	+ 0.43	+ 11.2	4.21	+ 0.43	+ 11.2
03-04-94	5.59	4.15	- 1.44	- 25.8	6.15	+ 0.56	+ 10.1
01-05-94	4.52	1.67	- 2.85	- 63.2	3.63	- 0.89	- 19.8

Estos valores permiten observar que el pronóstico de niveles presenta un desvío máximo de  $\pm 20\%$ , llegando en valores absolutos a una diferencia máxima de 0.56 m en exceso y de 0.89 m en defecto. Teniendo en cuenta la calidad y la escasez de los datos con que se cuenta, podemos decir que estos valores se encuentran dentro de un entorno aceptable.

### Variabilidad en la discretización temporal de la precipitación

Se propuso analizar si la discretización temporal de la precipitación tiene influencia en este pronóstico preliminar de niveles. El objetivo es lograr cuantificar la pérdida de información que introduce la agregación temporal de la lluvia. Para ello se plantea la comparación entre los hietogramas discretizados cada 1 hora que se tienen como dato, con hietogramas agregados cada 3, 6 y 12 horas. A modo de ejemplo, en la Figura 4, se presentan los hietogramas totales de la tormenta del día 17-03-94 discretizados en intervalos de 1, 3, 6 y 12 hs para la estación DNC (Despacho Nacional de Cargas, correspondiente a la ciudad de Pérez):



**Figura 4.- Hietogramas con diferentes discretizaciones temporales**

Se simularon los distintos escenarios producto de las diferentes discretizaciones temporales de la precipitación para cada tormenta y los resultados de la variación del nivel pronosticado se transcribe en la Tabla 5:

**Tabla 5.- Variación del pronóstico de alturas**

Tormenta	Discretización temporal del hietograma [hs]			
	1	3	6	12
17-03-94	4.21	4.21	4.19	4.18
03-04-94	6.15	6.15	6.15	6.22
01-05-94	3.63	3.62	3.62	3.59



Los resultados permiten apreciar que la aparente pérdida de información que se introduciría teniendo registros de lluvia cada 12 horas, es pequeña (del orden de 0.07 m) en comparación con el grado de exactitud del pronóstico. Por lo que la discretización temporal de la precipitación, con el nivel de detalle actualmente planteado para la utilización de esta herramienta, no plantea mayores problemas.

Factores a mejorar en el estudio, son la escasez de información limnigráfica y pluviométrica que se tiene de la cuenca. Asimismo, la distribución espacial de las precipitaciones presenta gran incertidumbre ya que se representa un área de 700 Km<sup>2</sup> con solo 3 pluviómetros. Otra variable que debe ser mejor representada o modelada es la humedad del suelo ya que interviene en el proceso de transformación lluvia–escurrimiento superficial.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La herramienta propuesta para el pronóstico preliminar de crecidas en tiempo pseudo real, basada en el modelo de transferencia lluvia-escurrimiento superficial y en el método del número de curva CN para el cálculo de la precipitación neta, analizada para tres eventos de importancia, permite el pronóstico de alturas con un error respecto de los niveles observados de +11% y –20%. Con lo cual se le asigna a esta metodología un margen de incertidumbre en niveles de  $\pm 20\%$ , considerándose totalmente aceptable en función de la información disponible.

La modificación introducida al método del número de curva CN, respecto al número de días en que se toma la precipitación antecedente, produce una importante mejora en los pronósticos de niveles. Por su parte el refinamiento en el nivel de discretización temporal de la precipitación no es de gran importancia para la mejora de los resultados, en el estado actual de precisión de los pronósticos.

En cuanto a la rapidez y estabilidad del modelo hidrológico distribuido y de la plataforma de ingreso y tratamiento de resultados, la experiencia ha resultado sumamente satisfactoria con lo cual se demuestra que estas herramientas son altamente confiables para el uso requerido en el presente estudio.

La representatividad espacial de las precipitaciones lograda con tres pluviómetros en una cuenca de 700 Km<sup>2</sup> es de dudosa calidad, por lo que sería altamente recomendable incrementar la cantidad de instrumental de registro para poder disminuir la incertidumbre al respecto. En cuanto al uso del suelo, sería interesante representar esta variable a partir del análisis y clasificación de imágenes satelitales, herramientas en la actualidad de relativa accesibilidad. Otra aplicación del análisis de las imágenes satelitales es poder conocer la variación del uso del suelo en función del transcurso de los años, para así poder llegar a relacionar como esta variable afecta las características de escurrimiento en la cuenca.

Es necesario que un sistema de previsión de crecidas a tiempo real presente menor incertidumbre que la aquí obtenida, por lo que se recomienda a los efectos de lograr una mejor exactitud del mismo, implementar el seguimiento en campo de las variables involucradas tales como el contenido de humedad del suelo y la variación de los coeficientes de rugosidad de Manning para el valle y los cursos a lo largo del año.

## REFERENCIAS

**Aldana Valverde, A. L.** (2002). “Planificación, diseño y utilización de herramientas de ayuda a la toma de decisiones en tiempo real”. Jornadas sobre Sistemas de Ayuda a la Decisión ante Problemas Hidráulicos e Hidrológicos en Tiempo Real, CEDEX, España.

- Berga, L.** (1995). "Aplicación de los Sistemas de Previsión de Avenidas. Experiencias y Problemática". Jornadas sobre el SAIH en la Gestión Hídrica, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, España.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W.** (1994). Hidrología aplicada. Santafé de Bogotá, McGRAW HILL Interamericana S.A., 584 p.
- García Bartual, R.** (2002). "Simulación, previsión, control y optimización". Jornadas sobre Sistemas de Ayuda a la Decisión ante Problemas Hidráulicos e Hidrológicos en Tiempo Real, CEDEX, España.
- Pouey, N.** (1998). Erosión Hídrica en cursos de llanura sobre lechos cohesivos. Rosario, UNR Editora, 164 p.
- Rentería, J. P., Stenta, H. R.** (2003). "Software con entorno gráfico tipo Windows para simulación de escurrimiento superficial en cuencas rurales de llanura asistido con motor de cálculo modelado con celdas". Proyecto Final de Ingeniería, FCEIyA, UNR, Rosario, Argentina.
- Riccardi, G. A.** (2000). "Un Sistema de Simulación Hidrológica-Hidráulica cuasi-2D multicapa para ambientes rurales y urbanos". Tesis Doctoral, FCEFYN, UNC, Córdoba, Argentina.
- Riccardi, G. A., Zimmermann, E. D., Navarro, R.** (2001). "Áreas inundadas en el Sistema Hídrico del A° Ludueña en Distrito Rosario". Informe de Avance 1. Convenio Municipalidad de Rosario-FCEIyA, Rosario, Argentina.
- Riccardi, G. A., Scuderi, C. M., Stenta, H. R.** (2002). "Modelado de escurrimiento superficial con alto nivel de detalle en la cuenca del arroyo Ludueña, Santa Fe, Argentina". XIX Congreso Nacional del Agua, T33, Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina.
- Scuderi, C. M., Stenta, H. R.** (2002). "La modelación de escurrimiento superficial con alto nivel de detalle de la cuenca del A° Ludueña, Santa Fe, Argentina". Informe de Adscripción, CURIHAM, FCEIyA, Rosario, Argentina.
- Tucci, C. E. M., Bertoni, J. C.** (2003). Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 471p.
- Zimmermann, E. D., Basile, P. A., Riccardi, G. A.** (1995). "Análisis de la Modificación en la Respuesta Hidrológica del Sistema del Arroyo Ludueña provocada por cambios en el Uso del Suelo". Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales (CURIHAM), FCEIyA, UNR, Rosario, Argentina.