

SISTEMA DE ALERTA A TIEMPO REAL EN LA ZONA DEL GRAN ROSARIO. RESULTADOS PRELIMINARES

**Carlos M. Scuderi⁽¹⁾, Gerardo A. Riccardi⁽²⁾, Erik D. Zimmermann⁽³⁾,
Pedro A. Basile, Hernán R. Stenta, Juan P. Rentería, María L. Ciabattari**
Departamento de Hidráulica. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.
Universidad Nacional de Rosario. ⁽¹⁾Ídem y Becario Doctoral CONICET. ⁽²⁾Ídem e Investigador
Consejo Nacional de Investigaciones UNR. ⁽³⁾Ídem e Investigador CONICET
Riobamba 245 bis. Rosario (2000), Santa Fe, Argentina. Telefax: +54-341-4808541
e-mail: cscuderi@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN

La ocurrencia de tormentas intensas asociada al aumento de la presión antrópica y la impermeabilización del suelo en la cuenca de aporte a la zona del gran Rosario son factores que incrementan la vulnerabilidad frente a las inundaciones. Con motivo de implementar un sistema de alerta contra inundaciones, el gobierno de la provincia de Santa Fe a partir del año 2007 instaló en cuencas del sur de la provincia una red de sensores pluviográficos y limnimétricos.

Para este trabajo se dispone de información pluviográfica y limnimétrica de 5 eventos ocurridos entre noviembre de 2008 y marzo de 2009 en la cuenca del arroyo Ludueña. El pronóstico de niveles se basa en la utilización de un modelo distribuido de celdas físicamente basado. Para la puesta en marcha del pronóstico es necesario conocer la condición de humedad del suelo, las pérdidas por infiltración, y los niveles limnimétricos y la lluvia precipitada medidos por los sensores. Dado que la mayor incertidumbre se halla en establecer la condición de humedad antecedente y la lluvia neta asociada a cada evento pluviométrico fue propuesto el uso del método de Green y Ampt con una variación en el grado de saturación efectiva del suelo y en la permeabilidad vertical saturada en más o menos un 25%.

Si bien los resultados obtenidos a la fecha son preliminares, puede observarse que en general: (a) los sensores de precipitación funcionaron bien durante los eventos, (b) del total de sensores limnimétricos, un 50% presentan problemas de registro durante una crecida, (c) los resultados dados por el modelo resultan difíciles de contrastar con los niveles medidos, por lo que se resiente la confiabilidad del sistema.

La puesta a punto de un sistema de alerta en cuencas de llanura exige conocer detalladamente además de la cuenca sobre la que se trabaja, las constantes modificaciones introducidas por el hombre. También resulta imprescindible contar con una serie de registros pluviométricos y limnimétricos que sean consistentes y de larga duración. Se requiere del compromiso de todos los estamentos involucrados (gubernamentales, privados y sociales) para arribar a un sistema de alerta confiable.

PALABRAS CLAVE: sistemas de alerta contra inundaciones, cuencas en zona de llanura, modelos matemáticos distribuidos.

INTRODUCCIÓN

La tendencia histórica de concentración de la población en grandes núcleos urbanos que se presenta en el territorio nacional, acrecienta la presión antrópica y con ello la cada vez mayor demanda del hombre sobre los recursos naturales. En la cuenca del Arroyo Ludueña, el uso del suelo para agricultura intensiva de soja y el "boom" inmobiliario que se ha dado en forma de barrios cerrados incrementan la impermeabilización del suelo produciendo un mayor escurrimiento superficial. Estas circunstancias aumentan la vulnerabilidad ante las inundaciones en que se encuentran los habitantes de la zona norte de la ciudad de Rosario, prueba de ello es la cronología de ejecución de obras hidráulicas estructurales para evacuación de crecidas en la cuenca del Arroyo Ludueña (Scuderi et al., 2007).

Hace aproximadamente unos 8 años se vio la necesidad de complementar las obras estructurales con obras no estructurales como mapas de manchas de inundación para varias recurrencias (Riccardi et al., 2001); o más recientemente, a partir del año 2007 la instalación de sensores pluviográficos y limnimétricos que registren y transmitan datos en forma automática. Esta red de sensores constituye la base para la posterior implementación de un sistema de alerta contra inundaciones.

Básicamente un sistema de alerta está compuesto por: (a) una red de sensores que recogen datos hidrológicos como precipitación, niveles, temperatura, etc.; (b) la transmisión de datos desde los sensores a un centro de control; (c) el centro de control que recibe y analiza los datos; (d) un modelo matemático para previsión de crecidas, que puede ser agregado o distribuido; y (e) optativamente un modelo de pronóstico de lluvias. Mayor información sobre sistemas de alerta puede ser consultada en Aldana Valverde (2002) y Scuderi et al. (2006, 2007).

Entre los días 26 y 30 de marzo del año 2007 la provincia de Santa Fe se vio afectada por un evento extraordinario, en el cual se registraron 365 mm (estación Rosario Aero dependiente del Servicio Meteorológico Nacional). El evento de una recurrencia mayor a 500 años estuvo asociado a una cota alta del río Paraná que actuó de tapón hidráulico sobre la desembocadura, circunstancias éstas que pusieron a prueba la capacidad de evacuación de las obras. Dicho evento, de inusuales características, fue lo que terminó de impulsar un Convenio celebrado entre el Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario y el Ministerio del Agua, Servicios Públicos y Medio Ambiente de la provincia de Santa Fe sobre "Rehidrología y Modelo de Simulación a Tiempo Real en Sistema de Alerta Hidrológico en las Cuencas de los Arroyos Ludueña y Saladillo" (Riccardi et al., 2008).

El objetivo de este trabajo es presentar la evaluación del desempeño de los sensores tanto pluviométricos como limnimétricos durante la ocurrencia de un evento, que constituyen los elementos que registran los datos de entrada y verificación del modelo, respectivamente. Por otra parte, se evalúa el comportamiento del módulo de Generación de Escenarios Hidrológicos (GEH) que utiliza el modelo de abstracciones de Green e Ampt para generar la lluvia neta a partir del ingreso de la precipitación total ocurrida y de las condiciones de humedad antecedente del suelo (Rentería et al., 2009). Finalmente se presentan algunos resultados preliminares que arroja el modelo de pronósticos de niveles hidrológico-hidráulico distribuido físicamente basado desarrollado por Riccardi (2000) para los cinco mayores eventos, con que se cuenta con información detallada, ocurridos entre noviembre de 2008 y marzo de 2009.

Este trabajo se enmarca dentro del Convenio citado anteriormente y el análisis de datos y los resultados preliminares aquí presentados corresponden a la cuenca del arroyo Ludueña.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cuenca de estudio

La cuenca del A° Ludueña (Figura 1) se localiza en la parte sureste de la provincia de Santa Fe, República Argentina; entre los paralelos 32° 45' y 33° 08' S y los meridianos 61° 04' y 60° 39' O. La red hídrica principal se compone del A° Ludueña y los canales Ibarlucea y Salvat, con una longitud total de aproximadamente 140 Km. El área de aporte es de aproximadamente 740 Km² y su elevación varía entre los 70 y 18 m sobre el nivel del mar. El caudal base del arroyo Ludueña es de 0,50 m³.s⁻¹, alcanzando en crecidas extraordinarias (R > 50 años) caudales superiores a los 400 m³.s⁻¹ (Riccardi et al., 2002). El suelo predominante es de tipo arcilloso-limoso de permeabilidad moderada a moderadamente lenta (Pouey, 1998), con pendiente media del orden de 1,0 m.Km⁻¹. La precipitación media anual es de 985 mm. La región se encuentra atravesada por terraplenes viales y ferroviarios, con una fuerte acción antrópica ejercida sobre ella. La agricultura constituye el principal uso del suelo, destacándose fundamentalmente la producción de soja, maíz y trigo. Zimmermann (1995) destaca que el cambio en el uso del suelo a partir de la década del 70, de cultivo de pasturas a agricultura extensiva, ha modificando la hidrología superficial de la cuenca; disminuyendo el tiempo de concentración de la misma junto a una creciente impermeabilización, y por lo tanto con el consiguiente aumento del escurrimiento superficial.

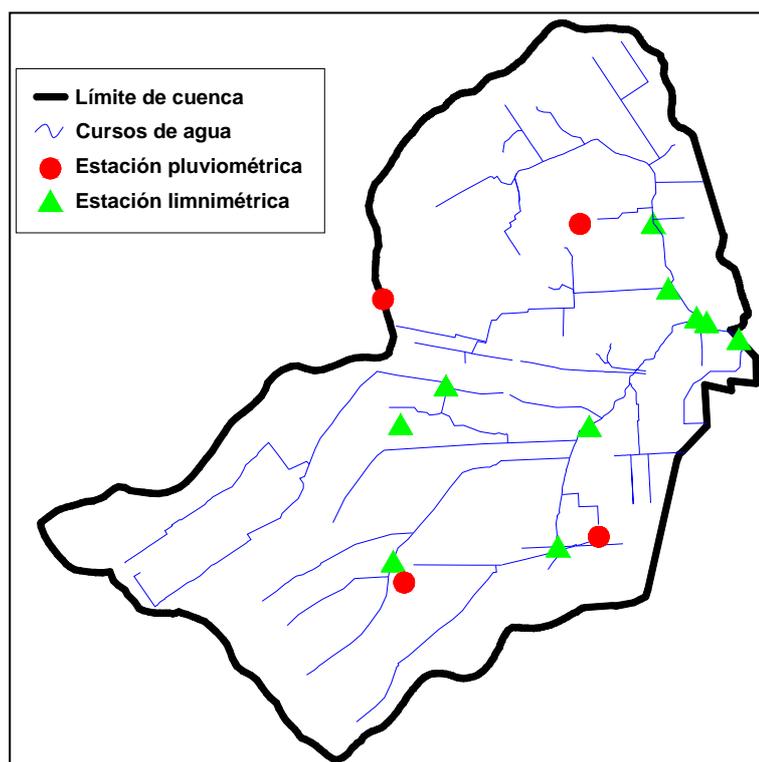


Figura 1. Cuenca del A° Ludueña. Sensores pluviométricos y limnimétricos

Desempeño de los sensores pluviométricos

A inicios del año 2007, fueron instalados en la cuenca del A° Ludueña por parte de la empresa ICSA S.A. cuatro sensores pluviométricos (Figura 1) situados en las localidades de Roldán, Ibarlucea, Pérez y Zavalla. La información referente a coordenadas en latitud y longitud, y fecha de inicio de registro de datos para cada uno de ellos se expresa en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos de sensores pluviométricos. Cuenca del A° Ludueña

Sensor	Latitud	Longitud	Inicio datos
Rtu-14. Roldán	32° 53' 17.17" S	60° 54' 28.50" O	13/01/2007
Rtu-15. Ibarlucea	32° 51' 11.52" S	60° 47' 39.59" O	03/02/2007
Rtu-16. Pérez	33° 00' 19.38" S	60° 47' 04.54" O	13/03/2007
Rtu-17. Zavalla	33° 01' 37.95" S	60° 53' 49.97" O	01/02/2007

Un análisis pormenorizado de los datos diarios registrados por los sensores, obtenidos como la suma de 96 valores obtenidos cada 15 minutos, indica que los mismos comenzaron a proveer datos confiables a partir del mes de julio de 2007. Los meses de enero a junio de 2007 constituyen un periodo que puede considerarse como de puesta a punto de los sensores pluviométricos. En dicho periodo de tiempo ocurrió el evento pluviométrico extraordinario entre los días 26 a 30 de marzo de 2007, el cual no fue registrado por los sensores.

Los eventos que se detallan a continuación (Tabla 2) fueron los ocurridos en el período analizado (nov 08 – mar 09). A pesar de que no se han dado eventos de importancia en dicho lapso de tiempo, fueron consideradas en el análisis las seis mayores tormentas registradas. El valor de precipitación medido por la estación Rosario Aero (dependiente del Servicio Meteorológico Nacional) es utilizado como estación testigo. Además se presenta en la misma tabla, el valor de la precipitación media sobre la cuenca (considerando la influencia areal por poligonos de Thiessen).

Tabla 2. Eventos ocurridos en la Cuenca del A° Ludueña (nov/08 a mar/09)

Fecha inicio	Rtu-14 Roldán	Rtu-15 Ibarlucea	Rtu-16 Pérez	Rtu-17 Zavalla	Pmedia	Rosario Aero
28/11/08	57.8	77.8	52.3	61.5	62.8	s/d
29/11/08	6.8	31.5	75.3	51.0	40.3	116.3
02/02/09	56.8	37.8	95.0	102.3	74.1	87.7
10/02/09	59.5	54.3	88.8	69.8	66.2	62.0
20/02/09	65.5	64.8	61.8	87.0	72.4	85.7
03/03/09	84.5	86.3	96.0	88.8	88.5	110.9

s/d: sin datos

Seguidamente fueron analizadas las precipitaciones acumuladas en forma simultánea para los cuatro sensores y para los diferentes eventos. A modo de ejemplo se presentan en la Figura 2 las precipitaciones acumuladas para los cuatro sensores durante el evento del día 10/02/09. De la observación general de las gráficas planteadas se infiere que el comportamiento de los sensores pluviométricos ha sido bueno durante el transcurso de los eventos analizados. No obstante cuando el total precipitado para cada tormenta es comparado con la estación Rosario Aero puede establecerse que en 4 de los 6 eventos los sensores automáticos registran valores por debajo de los medidos por la estación Rosario Aero (en promedio un 15% menos). Por lo tanto, la recomendación que surge de este hecho es que se DEBE VERIFICAR el funcionamiento de los sensores automáticos de precipitación.

Respecto de la distribución espacial de los eventos en la cuenca puede decirse que, en general, no hay uniformidad en ninguno de los eventos registrados; mientras que si analizamos la evolución temporal puede apreciarse que el grupo de sensores, en general, presenta una cierta tendencia de comportamiento uniforme.

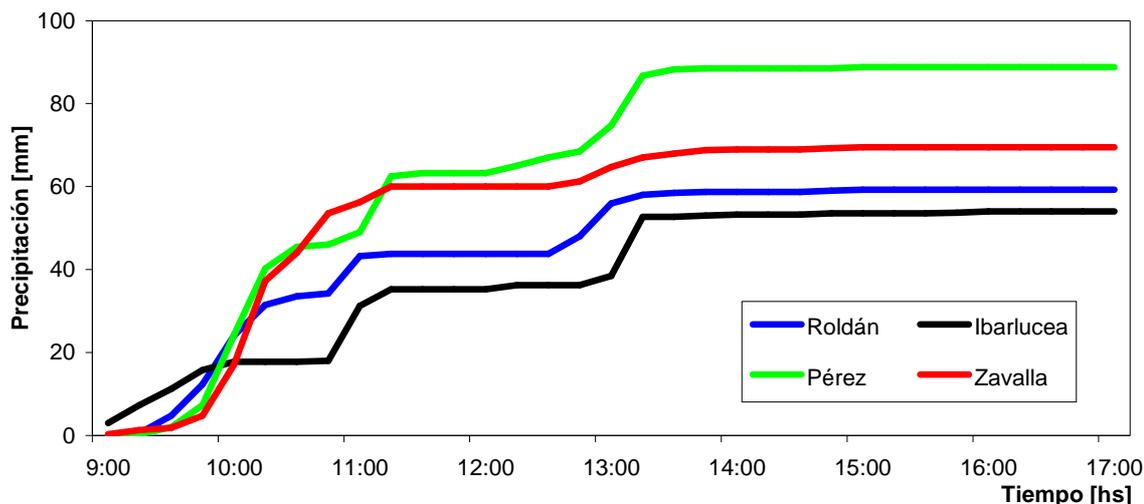


Figura 2. Precipitaciones acumuladas para el evento del 10/02/09

Desempeño de los sensores limnimétricos

Conjuntamente con la instalación de los sensores pluviométricos fueron instaladas once estaciones limnimétricas (Figura 1) sobre los cursos y afluentes principales. En la Tabla 3 se muestra el desempeño de los diferentes sensores limnimétricos durante la ocurrencia de los eventos evaluados. El evento 1 se corresponde con la tormenta de los días 28 a 30 de noviembre de 2008, el evento 2 con la lluvia precipitada entre los días 2 y 3 de febrero de 2009, el evento 3 con la lluvia del 10 de febrero de 2009, el evento 4 con la lluvia ocurrida entre los días 20 a 22 de febrero de 2009, y el evento 5 con la lluvia precipitada los días 3 y 4 de marzo de 2009. En color rojo se indican los sensores que no tuvieron respuesta o registraron valores erróneos (-999) durante el evento. En amarillo se indican las series que pese a presentar algunos valores erróneos (-999 o saltos bruscos) pueden ser corregidas por el operador. Mientras que en verde se presentan los sensores cuyo comportamiento es aceptable durante la ocurrencia del evento.

Tabla 3. Desempeño de los sensores limnimétricos. Cuenca A° Ludueña

Sensor	Evento 1	Evento 2	Evento 3	Evento 4	Evento 5
Rtu 18	Funciona (1)	Funciona (1)	Funciona	Funciona	Funciona (1)
Rtu 19	NO funciona	NO funciona	NO funciona	NO aceptable (5)	Funciona
Rtu 20	NO aceptable (2)	NO funciona	NO funciona	Funciona (6)	Funciona (7)
Rtu 21	Funciona (3)	Funciona (3)	Funciona (3)	Funciona (1)	Funciona (1)
Rtu 22	NO funciona	NO funciona	NO funciona	NO funciona	NO aceptable (2)
Rtu 23	NO aceptable (4)	NO aceptable (4)	NO funciona	NO funciona	NO aceptable (2)
Rtu 24	Funciona	NO funciona	Funciona	Funciona	NO funciona
Rtu 25	Funciona	Funciona	Funciona	Funciona	Funciona
Rtu 26	Funciona	Funciona	Funciona	Funciona	Funciona (7)
Rtu 27	NO funciona	NO funciona	NO funciona	NO funciona	NO funciona
Rtu 28	Funciona	Funciona	Funciona	Funciona	Funciona

(1) se registraron pocas y pequeñas oscilaciones → ACEPTABLE; (2) se registraron muchas oscilaciones → NO ACEPTABLE; (3) se registraron valores -999 → MEDIANAMENTE ACEPTABLE; (4) la tendencia registrada es dudosa → NO ACEPTABLE; (5) se registró un salto dudoso → NO ACEPTABLE; (6) se registraron saltos → MEDIANAMENTE ACEPTABLE; (7) se registran saltos → MEDIANAMENTE ACEPTABLE.

Analizando la Tabla 3 surge que de los 11 limnímetros, se tiene que en media, para cada tormenta funcionan solo SEIS (6). Por otro lado, si consideramos el periodo de tiempo transcurrido entre el primer y último evento, del orden de 4 meses, se observa que la efectividad del sistema no ha sido incrementada en dicho lapso. A este hecho debe sumarse que a lo largo de los eventos estudiados TRES (3) sensores no registraron datos en ninguna de las ocasiones. Esta situación evidencia la FALTA DE MANTENIMIENTO del sistema. Los sensores Rtu 18 (Presa Embalse), Rtu 21 (Canal Media Legua), Rtu 25 (Rosario Ibarlucea Camping), Rtu 26 (Ibarlucea R34S), y Rtu 28 (Rosario Embocadura) en general presentan un comportamiento aceptable durante la ocurrencia del total de los eventos. De acuerdo al comportamiento presentado por los sensores, se recomienda seguir detalladamente de aquí en adelante el funcionamiento de los mismos. Respecto de los valores registrados por los sensores limnimétricos, hay que alertar que los mismos se encuentran en cotas relativas, no pudiendo ser referenciados con cotas locales.

A continuación y a modo ilustrativo se grafican en la Figura 3 los limnigramas correspondientes a tres secciones para el evento del 28/11/08. En la misma pueden verse dos tipos de errores comunes, el primero de ellos se da en el limnigrama Rtu-20 Cauce Principal Ludueña donde se observa una oscilación continua a lo largo de todo el periodo de medición. El segundo error se aprecia en el limnigrama Rtu-21 Canal Media Legua donde se muestran dos caídas bruscas en el nivel registrado por el sensor.

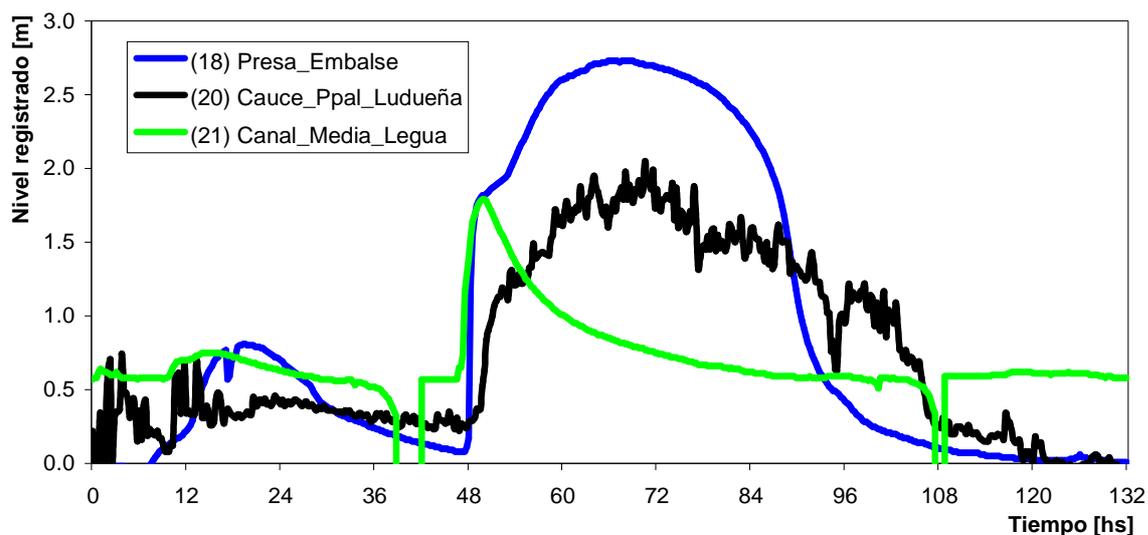


Figura 3. Limnigramas registrados durante el evento del 28/11/08

Comportamiento de los sensores en tiempo real

El acceso a los datos registrados por los sensores pluviométricos y limnimétricos es suministrado mediante una página de Internet de acceso restringido habilitada para tal fin por la empresa ICSA S.A. El desempeño de la misma fue evaluado durante la ocurrencia de diferentes eventos por varios miembros de este grupo de trabajo desde distintos equipos informáticos. El análisis indica que el acceso durante la ocurrencia de una tormenta es DEFICIENTE ya que prácticamente NO SE PROVEEN DATOS EN TIEMPO REAL. La falta de datos es un grave problema, pero lo es aún más cuando los datos disponibles son erróneos; como ejemplo puede citarse el evento ocurrido entre el 20 y el 22 de febrero de 2009 en la estación pluviométrica Rtu-1 Los Quirquinchos perteneciente a la cuenca del A° Saladillo. Durante este evento llegó a registrarse un total acumulado diario precipitado de 587.1 mm correspondiente al día 22 de febrero. Un problema adicional fue que, durante la supuesta “ocurrencia” del evento, fueron consultadas el resto de las estaciones pluviométricas pertenecientes a la cuenca del citado arroyo (Firmat, Casilda,

Fuentes, Álvarez y Chabás) con el resultado de que la consulta arrojó que las mismas NO MOSTRABAN NINGÚN REGISTRO. Si bien el valor registrado por la estación Los Quirquinchos era más que probable que se debiera a una falla del equipo, la falta de datos de las estaciones vecinas no permitió cotejar el funcionamiento de la estación durante la ocurrencia del evento. Para arrojar un poco más de certidumbre sobre este evento se procedió a llamar telefónicamente a radios de Firmat y Casilda para solicitar datos de lluvia de esas localidades y poder cotejar el funcionamiento de la estación Los Quirquinchos.

Como resultado de esta experiencia, se concluye que los datos presentados en la página de internet NO SON ANALIZADOS NI FILTRADOS previamente a su publicación; con lo cual pueden darse dos situaciones: que se estén suministrando valores por debajo de los ocurridos o que como en el caso mencionado se publiquen valores muy por arriba de los reales con el consiguiente problema de que se puede declarar un alerta cuando en realidad no existen las condiciones para efectivizarlo.

Módulo de Generación de Escenarios Hidrológicos (GEH)

Este módulo está constituido por un programa informático desarrollado en el marco del Convenio “Rehidrología y Modelo de Simulación a Tiempo Real en Sistema de Alerta Hidrológico en las Cuencas de los Arroyos Ludueña y Saladillo” (Riccardi et al., 2008). Este programa permite calcular la precipitación neta en forma distribuida sobre la cuenca a partir de datos puntuales de los sensores pluviométricos, incorporando también la opción de introducir en forma manual los datos de lluvia. A partir de los datos de lluvia y de la posterior corrección de posibles errores de medición, se construye el hietograma distribuido total con intensidades de precipitación cada 15 minutos. Para obtener el hietograma neto, que es una de las variables de entrada al modelo de pronóstico de niveles, se utiliza el método de Green y Ampt. Para lo cual se hace necesario conocer dos parámetros asociados al tipo de suelo, a su historia previa de humedad y a las propiedades físico-químicas del mismo; estas características son contempladas a través del grado de saturación efectiva del suelo Se (obtenido en función del Índice de Precipitación Antecedente IPA) y del coeficiente de permeabilidad vertical saturada Kv , función de la composición textural y de las características físico-químicas del suelo (Zimmermann et al., 2009).

Como protocolo de trabajo durante una situación de pronóstico se plantea, dada la incertidumbre en el conocimiento de la condición de humedad antecedente, obtener un rango de soluciones considerando la variación de los parámetros grado de saturación efectiva Se y coeficiente de permeabilidad vertical saturada Kv en $\pm 25\%$. Resultando a partir de esta consideración una matriz con nueve valores de lluvia neta para cada evento, en función de tres constantes que multiplican al valor de Se (0,75, 1,00 y 1,25) y de tres constantes que multiplican al valor de Kv (0,75, 1,00 y 1,25). En la Tabla 4 se muestran las condiciones analizadas para cada evento, obteniendo un total de 45 pronósticos.

Tabla 4. Lluvias netas generadas para las 5 tormentas evaluadas

			Lluvia neta [mm]								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
			$Kv=0.75$	$Kv=0.75$	$Kv=0.75$	$Kv=1.00$	$Kv=1.00$	$Kv=1.00$	$Kv=1.25$	$Kv=1.25$	$Kv=1.25$
Fecha	Ptot [mm]	IPA	$Se=0.75$	$Se=1.00$	$Se=1.25$	$Se=0.75$	$Se=1.00$	$Se=1.25$	$Se=0.75$	$Se=1.00$	$Se=1.25$
30-nov	50.2	202	12.3	13.4	14.7	9.0	10.1	11.3	6.8	7.6	8.7
02-feb	74.1	155	17.3	17.8	18.2	12.9	13.3	13.8	9.8	10.2	10.6
10-feb	66.2	215	16.3	18.8	22.2	12.0	14.3	17.5	8.8	11.1	14.0
20-feb	72.4	250	6.7	10.8	20.3	3.4	6.6	15.3	1.8	4.1	11.6
03-mar	88.5	263	4.9	8.9	25.9	3.1	5.5	19.3	2.3	3.8	14.4

Modelo de pronósticos utilizado

El modelo de transformación lluvia caudal adoptado es un modelo hidrológico-hidráulico distribuido desarrollado por Riccardi (2000) y denominado CTSS8, el cual está basado en el conocido esquema de celdas interconectadas propuesto por Cunge. Este modelo fue desarrollado en lenguaje de programación Fortran, por lo que ofrece una cierta rigidez en su utilización. Una solución a este inconveniente fue propuesta por Rentería y Stenta (2003) al desarrollar una interfaz amigable tipo “ventanas” entre el modelo y el usuario; ofreciendo una manera ágil y sencilla de configuración de la cuenca a analizar, entrada de datos e interpretación de resultados.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presentan tres de los limnigramas obtenidos de la familia de 45 pronósticos calculados. En la Figura 4 se muestran para el evento del 02/02/09 los 9 limnigramas pronosticados para 9 condiciones iniciales diferentes y el limnigrama medido por el sensor automático. En esta figura puede verse que los limnigramas reproducen bien el nivel máximo (diferencia del orden de 15 cm) así como también la rama ascendente, sin embargo la rama descendente se encuentra un poco retrasada en el tiempo.

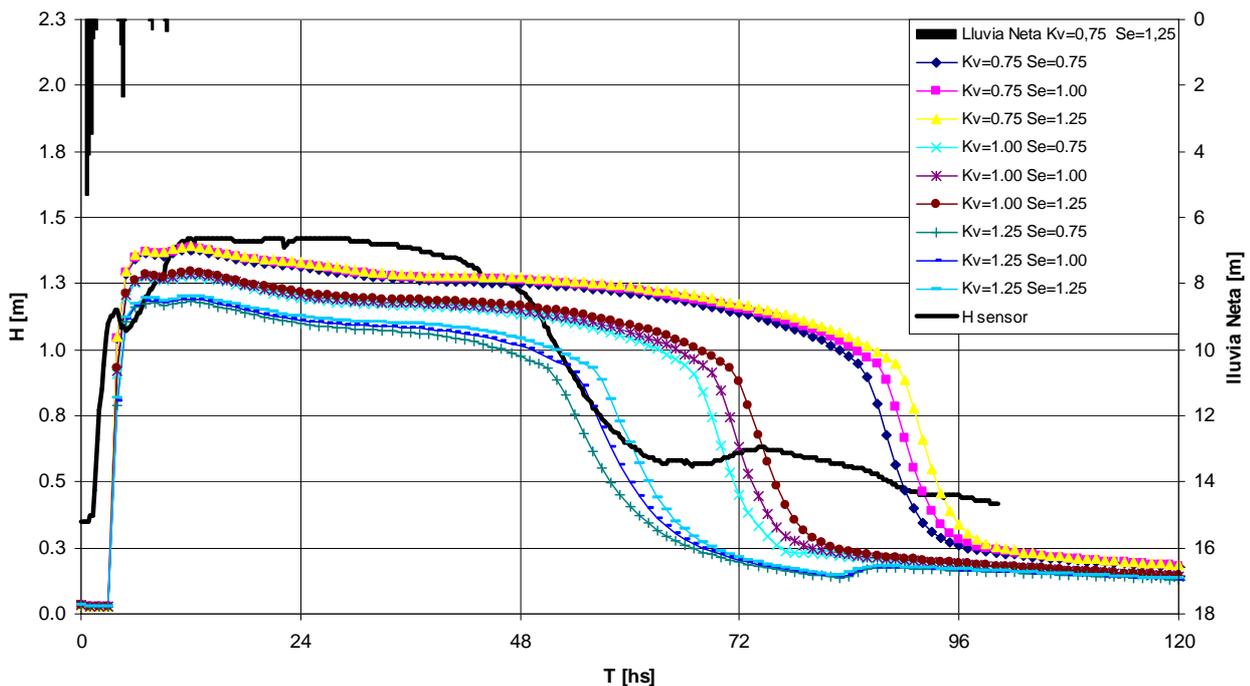


Figura 4. Limnigramas RTU-25 Ibarlucea Camping para el evento del 02/02/09

En la Figura 5 se detalla la familia de hidrogramas obtenida para las 9 condiciones iniciales diferentes junto al limnigrama medido por el sensor de transmisión a tiempo real, para el evento de fecha 10/02/09 en la sección correspondiente al sensor Rtu-18 Funes Presa Embalse. En esta gráfica se observa que el limnigrama medido se encuentra dentro del rango de limnigramas pronosticados, siendo que la situación con los valores originales de Se y de Kv, es decir sin modificaciones, es la que ofrece la mejor aproximación.

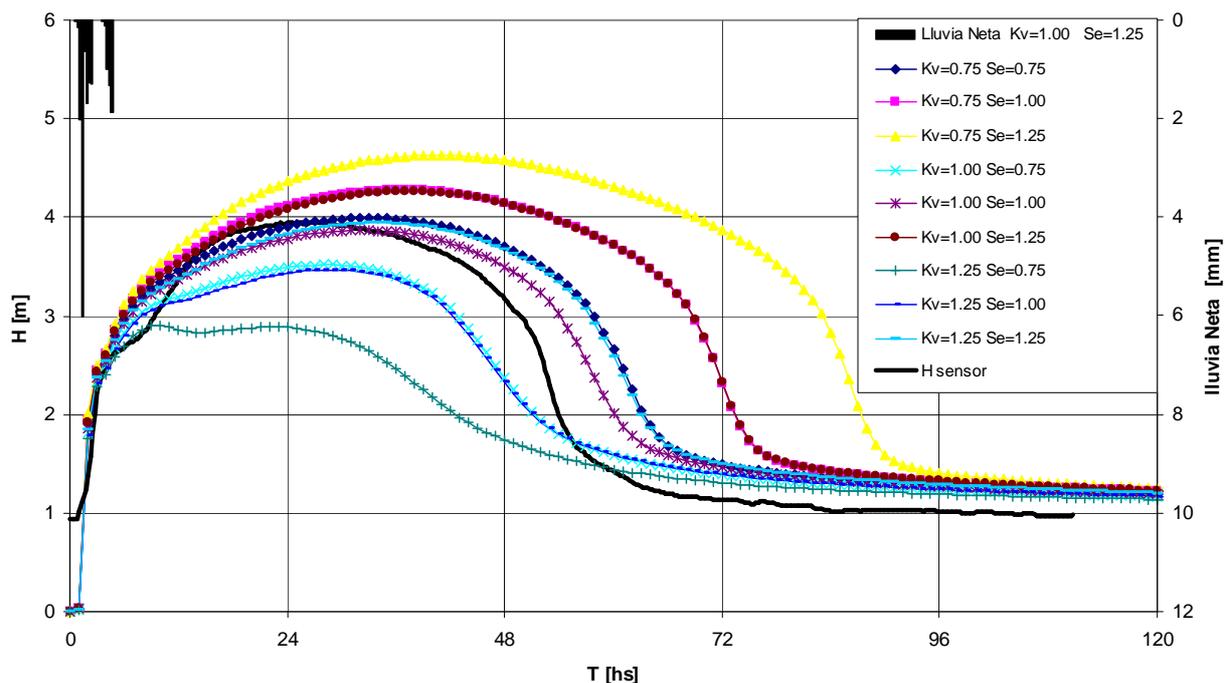


Figura 5. Limnigramas RTU-18 Funes Presa Embalse para el evento del 10/02/09

La Figura 6 pertenece al evento con fecha 10/02/09 para la sección Rtu-24 Perez Canal Peretti. En la misma se aprecia que los pronósticos no alcanzan a reproducir los niveles de agua en el curso medidos por el sensor, siendo la diferencia del orden de 25 cm en menos. No obstante la rama ascendente, el tiempo al pico y la rama descendente son bien reproducidas por los pronósticos.

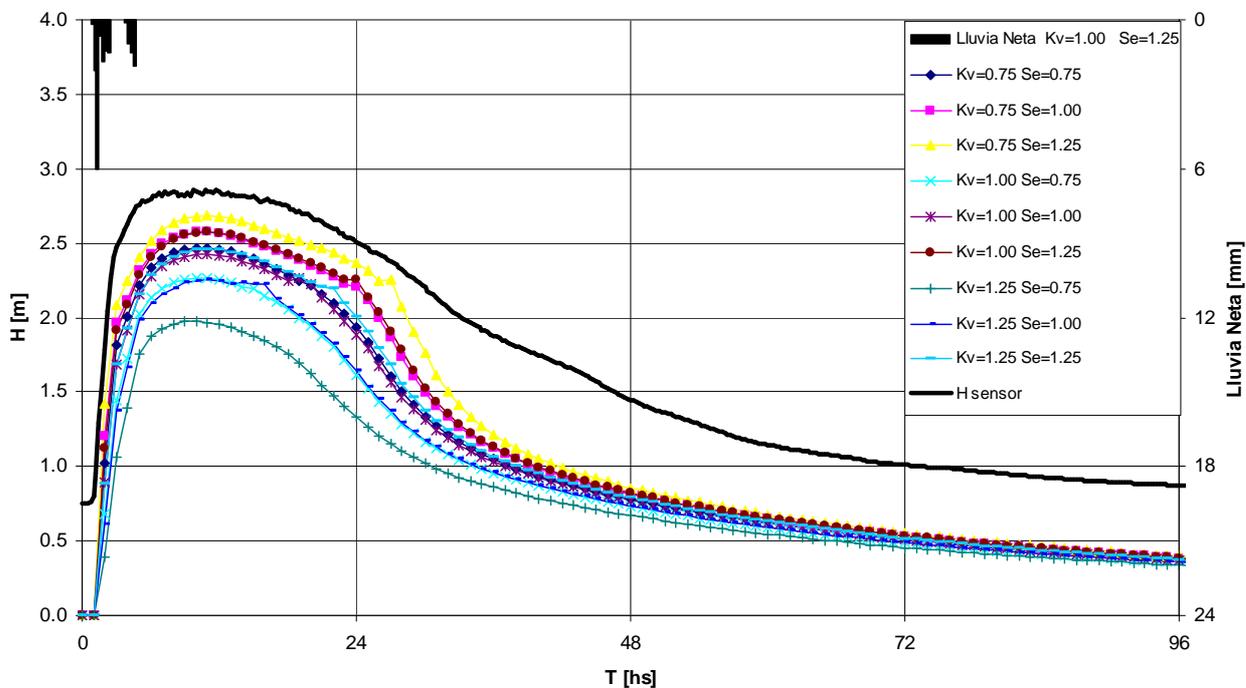


Figura 6. Limnigramas RTU-24 Perez Canal Peretti para el evento del 10/02/09

Por lo tanto puede verse que para los eventos analizados, los cuales no son de gran magnitud, el ajuste logrado por el modelo hasta el estado de avance actual es sumamente alentador.

OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

El sistema de consulta suministrado por la empresa ICOSA S.A. a través de una página de internet de acceso restringido durante la ocurrencia de un evento pluviométrico resulta **ALTAMENTE DEFICIENTE**, por lo que se recomienda la provisión de los datos en tiempo real a través de un medio más efectivo.

El registro de datos pluviométricos efectuado por los cuatro sensores automáticos instalados en la cuenca resulta consistente a partir del mes de julio de 2007, no obstante se recomienda la **VERIFICACIÓN** de los mismos debido a que cuando son comparados con los valores registrados por la estación Rosario Aero se encuentran un 15% por debajo de la misma.

El registro de datos limnimétricos resultante de las once estaciones montadas en la cuenca presenta grandes periodos de falla, lo que refleja el **POCO MANTENIMIENTO** efectuado sobre la red de sensores. Durante la ocurrencia de los eventos estudiados se corroboró que la efectividad de las mismas fue del 50%. Además de lo anterior fue detectado el incorrecto montaje de algunos sensores limnimétricos, recomendando que se realice la correcta instalación de los mismos. Por otra parte, los valores registrados por los sensores limnimétricos son se encuentran referenciados altimétricamente al sistema de referencia del Instituto Geográfico Militar (IGM) por lo que los datos recabados por los sensores sólo se hallan en cotas con referencia local. Este hecho trae aparejado la imposibilidad de cotejar los limnigramas registrados entre si, así como tambien de la correcta comparación con los resultados obtenidos a través de la aplicación del modelo de Alerta.

El módulo de Generación de Escenarios Hidrológicos demostró ser de manejo sencillo y robusto siendo testeado varias veces en la generación de los diferentes escenarios de pronóstico. Su funcionamiento se mostró estable y de rápida respuesta. De la misma manera, el modelo de pronósticos distribuído físicamente basado presentó un buen comportamiento.

La calibración de los parámetros utilizados en el modelo de pronosticos se hace **EXTREMADAMENTE DIFÍCIL** al contar con valores limnigráficos medidos de poca confiabilidad, esta situación atenta contra la confiabilidad del Sistema de Alerta.

Para finalizar, pero no menos importante, se indica que la puesta a punto de un sistema de alerta en cuencas de llanura exige conocer detalladamente además de la cuenca sobre la que se trabaja, las constantes modificaciones introducidas por el hombre. Resultando imprescindible contar con una serie de registros pluviométricos y limnimétricos que sean consistentes y de larga duración. Solo el compromiso de todos los actores involucrados (gubernamentales, privados y sociales) logrará que se arribe a un Sistema de Alerta confiable.

BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- Pouey, N** (1998). *Erosión Hídrica en cursos de llanura sobre lechos cohesivos*. Universidad Nacional de Rosario Editora, Rosario, Argentina, 164 p.
- Rentería, J. P. y H. R. Stenta** (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.
- Rentería, J. P.; García P.; Riccardi, G. A.; Zimmermann, E. D.; Stenta, H. R.; Scuderi, C. M.; Basile, P. A.** (2009). Software de Pronóstico de Alerta contra Inundaciones en las cuencas de los Arroyos Ludueña y Saladillo

- (Santa Fe, Argentina). XXII Congreso Nacional del Agua, Trelew, Chubut, Noviembre 2009, 12 p. Sujeto a Evaluación.
- Riccardi, G. A.** (2000). *“Un Sistema de Simulación Hidrológica-Hidráulica cuasi-2D multicapa para ambientes rurales y urbanos”*. Tesis Doctoral, FCEfN, UNC, Córdoba, Argentina.
- Riccardi, G. A.; E. D. Zimmermann y R. Navarro** (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.; C. M. Scuderi y H. R. Stenta** (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.
- Riccardi, G. A.; Zimmermann, E. D.; Basile, P. A.; Mancinelli, A. M.; Scuderi, C. M.; Rentería J. P. y García P.** (2008). *“Rehidrología y Modelo de Simulación a Tiempo Real en Sistema de Alerta Hidrológico en las Cuencas de los Arroyos Ludueña y Saladillo”* Informe técnico, Convenio entre Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura y Ministerio del Agua, Servicios Públicos y Medio Ambiente de la Pcia. de Santa Fe.
- Scuderi, C. M.; G. A. Riccardi y E. D. Zimmermann** (2006) *“Pronóstico preliminar de crecidas en tiempo pseudo real en una cuenca de llanura”*. XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Ciudad Guayana, Venezuela.
- Scuderi, C. M.; Riccardi, G. A. y Zimmermann, E. D.** (2007). Predicción de crecidas en tiempo real para un curso de llanura basada en un modelo hidrológico distribuido de celdas. XXI Congreso Nacional del Agua, San Miguel de Tucumán, Tucumán, Mayo 2007, 14 p.
- Zimmermann, E. D.** (1995) *“Implicancias Antrópicas en los Procesos de Inundaciones de Áreas Llanas”*. Jornadas Regionales Interdisciplinarias sobre Ambiente. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Santa Fe, Argentina.
- Zimmermann, E. D.; Basile, P. A.; López, C.; Riccardi, G. A.; Stenta, H. R.; Scuderi, C. M. y Rentería, J. P.** (2009). Condiciones Antecedentes para la tormenta de diseño en el área de Gran Rosario. XXII Congreso Nacional del Agua, Trelew, Chubut, Noviembre 2009, 11 p. Sujeto a Evaluación.