



La simulación físicamente basada de escurrimiento superficial como herramienta de pronósticos de niveles en sistemas de alerta hidrológico en zonas de llanura

Gerardo Riccardi^{1,2}, Erik Zimmermann^{1,3}, Pedro Basile¹, Hernán Stenta¹, Carlos Scuderi^{1,3}, Juan Rentería¹ y Lucía Odicini¹

¹ CURIHAM y Departamento de Hidráulica, FCEIA, Universidad Nacional de Rosario, Riobamba 245 bis (2000), Rosario, Argentina

² CIC- CIUNR, Universidad Nacional de Rosario, Riobamba 245 bis (2000), Rosario, Argentina

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Mail de contacto: riccardi@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se describe la experiencia de utilización de un modelo de simulación hidrológica-hidráulica cuasi-2D físicamente basado VMMHH 1.0 como algoritmo de transformación lluvia caudal y generación y propagación de escurrimiento superficial, dentro de un sistema de alerta hidrológica, y su aplicación en una sistema hidrológico no típico de llanura como la cuenca del arroyo Ludueña, en la provincia de Santa Fe, Argentina. Este trabajo complementa lo presentado por Stenta et al. (2010), focalizando en la descripción y análisis de los resultados en términos de niveles, caudales y volúmenes, correspondientes a la implementación del modelo durante el ciclo húmedo 2009 a 2010. Palabras claves: escurrimiento superficial; alerta hidrológica; modelación físicamente basada.

ABSTRACT

This paper describes the experience of using a hydrological simulation model-hydraulic physically based quasi-2D VMMHH 1.0 in the rainfall-runoff transformation in rural and urban environment within a hydrological warning system, and its application in a hydrological not typical system as Ludueña stream basin, in the province of Santa Fe, Argentina. This work complements that presented by Stenta et al. (2010), focusing on description and analysis of the results in terms of levels, flows and volumes relating to the implementation of the model during the wet cycle from 2009 to 2010.

Keywords: runoff, hydrological warning, physically based modeling.

Introducción

En la gestión de recursos hídricos orientada a la mitigación de inundaciones, es cada vez más habitual la utilización de sistemas de alerta hidrológico en sistemas hidrológicos en zonas de llanura. A diferencia de los sistemas hidrológicos típicos, los sistemas de llanura se caracterizan por generar respuestas en términos de crecidas algo más lentas que los sistemas típicos, disponiendo en este caso con la posibilidad de contar de algo más de tiempo para predecir la evolución de tirantes en puntos críticos una vez sucedido un evento lluvioso. Estos sistemas de alerta temprana involucran como uno de los componentes fundamentales, los algoritmos o modelos de transformación lluvia-caudal. Un amplio grupo de modelos se utilizan en las distintas experiencias de alerta reportada en la bibliografía internacional, no dependiendo la calidad de los resultados del modelo en si mismo sino de factores tales

como: cantidad y calidad de datos hidrometeorológicos, información de la geomorfología de la cuenca, representatividad del modelo utilizado de los procesos hidrológicos dominantes en cada caso particular, calidad del ajuste de los parámetros del modelo, compatibilidades de cálculo numérico, relación tiempo computacional vs tiempo simulado, entre otros. En este trabajo se describe la experiencia de utilización de un modelo de simulación hidrológica-hidráulica cuasi-2D físicamente basado como algoritmo de transformación lluvia caudal y generación y propagación de escurrimiento superficial, dentro de un sistema de alerta hidrológica, y su aplicación en una sistema hidrológico no típico de llanura como la cuenca del arroyo Ludueña, en la provincia de Santa Fe, Argentina. El modelo utilizado es el VMMHH 1.0 (Riccardi et al., 2009). Esta herramienta tecnológica es la última actualización de la fusión entre el modelo

matemático hidrológico-hidráulico CTSS8 (Riccardi, 2000) y la plataforma en sistema de ventanas para pre y post procesamiento de información y resultados SIMULACIONES (Stenta et al. 2005). Como se mencionara, el presente trabajo complementa el presentado por Stenta et al., (2010). En Stenta et al. (2010) se describe el modelo, el ambiente de modelación, la implementación y calibración, como así también la explotación para los eventos lluviosos del período 2008-2009. En este trabajo se describe la explotación de la herramienta durante el período de lluvias de noviembre de 2009 a marzo de 2010 y la correspondiente experiencia adquirida tras la operación del modelo.

Breve descripción de la cuenca y la implementación del modelo

La implementación del modelo en el arroyo Ludueña se llevó cabo en un área de 740 km² (Fig. 1) estableciéndose este área tributaria en el cierre correspondiente a la embocadura del sistemas de grandes conductos subterráneos, previo a su desembocadura en el río Paraná.

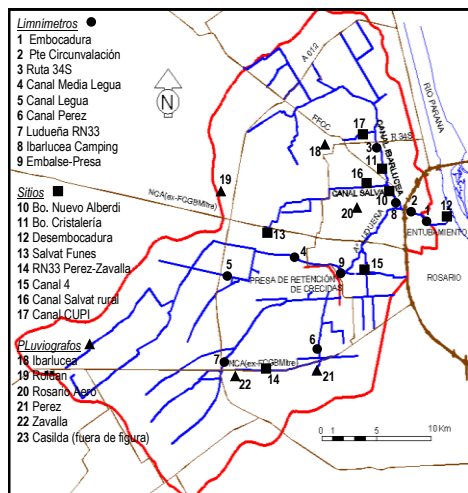


Fig.1. Cuenca del Arroyo Ludueña

La cuenca tiene una pendiente media de 1,4 por mil. La red hídrica principal está constituida por el A° Ludueña y los canales Ibarlucea y Funes-Salvat, mientras que en épocas de lluvia se adicionan numerosos y pequeños cursos naturales (cañadones) y artificiales que aportan al escurrimiento. La región se encuentra atravesada por importantes terraplenes tanto viales como ferroviarios. La red de cursos y canales primaria tiene una

extensión de aproximadamente 140 km, en tanto que con el agregado de cunetas y canales secundarios esta longitud de vías de drenaje alcanza los 360 km. En la Fig. 1 se esquematiza la cuenca. La densidad de drenaje considerando solamente los cursos naturales es de 0.19 km/km², en tanto que al cabo de la alteración antrópica alcanzada a la fecha, la densidad de drenaje asciende a 0.49 km/km², lo que conforma una importante indicador del grado de transformación que ha sufrido la cuenca.

El modelo se implementó con 11855 celdas cuadrangulares de 250 x250 m constituyendo la condición de borde saliente la desembocadura a nivel en el río Paraná. Más detalles pueden consultarse en Stenta et al. (2010).

Sensores, aforos y sitios críticos en la cuenca

La cuenca cuenta con una red de 10 sensores de niveles y 6 sensores de lluvias. Durante el período 2009-2010 la red no funcionó en cada evento en su totalidad por lo que la información disponible en todos los eventos lluviosos es parcial. Asimismo, existe sitios críticos asociados a desborde de cursos de agua y anegamientos de rutas donde, si bien no se realizan observaciones sistemáticas, personal técnico de las autoridades hídricas municipal y provincial como así también personal de este centro, llevan a cabo campañas de mediciones de niveles (en ocasiones se hacen registros fotográficos y de videos) durante episodios lluviosos, los que son empleados durante la modelación para la contrastación con los niveles calculados por el modelo de pronósticos. También existe una red de apoyo basada en observaciones pluviométricas realizadas por personal de los municipios y ciudadanos en general. Asimismo, personal de este centro ha llevado a cabo aforos de caudales en ciertas secciones de los cursos principales. En la Fig. 1 se presentan los sitios de los sensores de lluvia y niveles como así también un grupo de sitios críticos.

Sección de control de caudales

La sección de control de caudales de la cuenca durante el período 2008-2010, se sitúa aguas abajo del puente este de la Avda. de Circunvalación de Rosario (sitio de aquí en mas denominado RTU20). Puede verificarse que en esta sección, el escurrimiento no es influenciado fuertemente por el remanso generado por la desembocadura a nivel en el río Paraná, al menos para crecidas que no superen el intradós de la obra de embocadura del sistema de

grandes conductos cerrados. El rango de la influencia del nivel del río Paraná sobre el remanso que se establece desde la desembocadura hasta el sitio de aforo RTU20 (4100 m aguas arriba) en el nivel del arroyo Ludueña se ha valorizado en un valor máximo de 0.05 m, mientras no se ahogue la embocadura de los conductos.

A partir de aforos realizados desde 2007 se ha podido determinar un rango de la relación H-Q en función del planteo de la ecuación de resistencia de Manning. Considerando que la base de fondo actual de la sección es de 22 m, todos los valores resultante de aforos pueden encerrarse en un par de curvas, una curva de máxima asociada a coeficiente de manning $\eta=0.033$ y pendiente de fondo $S_o=0.001$, y otra curva de mínima asociada a $\eta=0.035$ y $S_o=0.0008$. En la Fig. 2 se presentan ambas curvas conjuntamente con un grupo de valores de los aforos realizados.

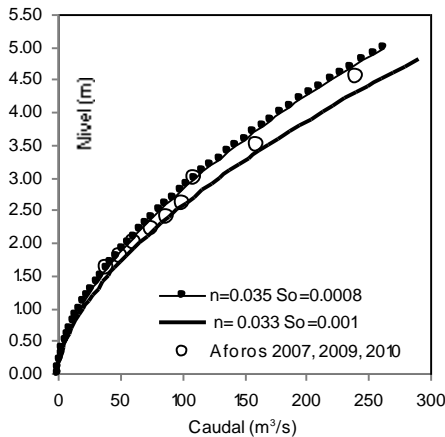


Fig.2. Curva H-Q sitio Circunvalación

Tratamiento para los niveles de agua iniciales

Los niveles de agua iniciales tanto en los cursos de agua como en el valle, pueden ser introducidos con el máximo grado de detalle disponible del modelo (1 valor en cada celda). En casos en que solo se disponga de niveles en algunos sitios de algunos de los cursos principales, el modelo cuenta con bibliotecas adicionales en las cuales se han elaborado hipotéticos “estados iniciales” conformados a partir de tormentas arealmente uniformes en toda la cuenca. En el caso de necesitarse una condición inicial originada en una lluvia arealmente no uniforme, puede realizarse una corrida previa del modelo con la distribución deseada de la lluvia, interrumpir la corrida al

alcanzarse el estado inicial requerido y luego exportar todo el campo espacial de niveles para ser utilizados en el pronóstico.

Áreas de aporte parciales

A los efectos de cuantificar las jerarquías de los distintos tramos de cursos de agua (arroyo, canales, cañadones, cunetas, etc.) mediante el uso del modelo VMMHH 1.0 (Riccardi et al., 2009) se ha procedido a determinar el valor de las áreas tributarias a cada unidad del dominio espacial de toda la cuenca. Para llevar a cabo este proceso se cargó el modelo con una lluvia mínima de larga duración de modo que el sistema alcance al menos el 95% del caudal de equilibrio. Una vez alcanzado dicho estado se computa el área tributaria al relacionar el caudal saliente por una determinada celda y el generado por cada celda. Este procedimiento dio lugar a un mapa en formato raster de áreas tributarias. Las áreas estimadas son de suma importancia, especialmente en estas zonas de llanura donde el escurrimiento es difuso y no puede fácilmente establecerse a partir de curvas de nivel. En todas las subcuencas que aportan a los sitios donde se ubican los sensores limimétricos fueron valorizadas las áreas tributarias (Riccardi et al., 2009). Para la determinación espacial de la zona tributaria de cada sitio de interés puede ser utilizado el algoritmo denominado Cuencador (Riccardi, 2005) que ha permitido definir las direcciones de los caudales máximos originados en cada celda. Con esta herramienta se ha completa el mapa de áreas tributarias parciales.

Umbral mínimos asociados a desbordes

A los efectos de determinar umbrales mínimos asociados a posibles desbordes en puntos críticos, se llevaron a cabo una serie de simulaciones vinculando diferentes condiciones de humedad antecedente y lluvias simples de 6 horas de duración. De este modo se constituyeron una serie de umbrales de desborde en 2 puntos críticos de la cuenca baja: Barrio Nuevo Alberdi y Empalme Graneros, para $0.10 \leq Se \leq 1.0$. Los valores de lámina resultante son solo indicativos pero permite dar al operador del sistema de alerta una perspectiva de la importancia de la evolución esperable de los niveles ante la presentación de una lluvia dada.

Explotación del modelo en el período 2009-2010

Durante el período de lluvias entre noviembre de 2009 y marzo de 2010 fue corrido el modelo de pronósticos en 8 eventos lluviosos

en la región con precipitaciones entre 36 y 100 mm de lámina media. Estos eventos totalizaron una lluvia media total cercana a los 600 mm, derivándose una precipitación neta en el entorno a 185-219 mm. La lluvia neta tipificada como “observada” se definió a partir de los aforos de niveles en el sitio RTU20 (700 km² de área tributaria), la posterior transformación a caudales mediante la ley H-Q antes descrita (Fig. 2) y la determinación de los volúmenes de escurrimiento mediante integración de caudales.

El campo areal de lluvias totales de cada tormenta se estableció a partir de constituir la lluvia regional mediante la metodología de Thiessen aplicadas a la información disponible desde los sensores y en ocasiones desde la Estación Rosario Aero del SMN y algún otro sitio donde se dispuso de datos confiables.

La asignación de condiciones antecedentes se realiza a partir de la aplicación de una formulación del índice de humedad antecedente (IPA) desarrollado en forma específica para esta cuenca (Zimmermann et al., 2009). Este índice es actualizable diariamente y se discretiza con la misma variación espacial que las lluvias. El IPA se relaciona directamente con el grado de saturación relativa (Se) mediante una relación ajustada por Zimmermann et al. (2008).

La lluvia neta se determina a partir del algoritmo de Green y Ampt y mediante la proposición de una pérdida inicial por intercepción en follaje y almacenamiento en microdepressiones superficiales. En todas las tormentas se ha considerado un valor constante de pérdida inicial entre 6-9 mm. Este rango de valores fue derivado a partir de las modelaciones antecedentes realizadas en el período 2008-2009 (Riccardi et al., 2009). Los valores medios de los parámetros de Green y Ampt para la permeabilidad vertical saturada (kv) y el potencial de succión (ψ) son kv = 79.7 mm/día (max: 207 mm/día; min: 5.4 mm/día) y ψ = 854 mm (max: 1100mm; min: 482 mm) (Zimmermann et al., 2009). Paralelamente a la elaboración de lluvia neta se realiza la deducción de una 2da. Alternativa de lluvia neta considerando una saturación mayorada en un 15-30% pero sin superar el valor Se = 0.95. Con estas dos lluvias se corre el modelo de pronósticos generando para la 1er. lluvia un pronóstico de niveles tipificado “de mínima” y con la 2da. un pronóstico “de máxima” (rutina GEH, Rentería et al., 2009). Integrando los hidrogramas calculados asociados al pronóstico de máxima y mínima se valoriza el entorno de volúmenes calculados salientes por el sitio de

control.

En la Tabla 1 se presentan los valores de las láminas totales, netas, los valores de Se estimados a partir y el entorno de lluvia neta computado por el modelo a partir de considerar un margen de incertidumbre del 15 al 30% de la variable Se. En la Fig. 3 se presentan los limnigramas observados y calculados para 6 de las tormentas citadas en Tabla 1 en el sitio del sensor limnimétrico RTU20. Los valores computados por el modelo corresponden a una 1er fase del pronóstico de niveles, que se lleva a cabo una vez concluida la lluvia (en el caso de lluvias simples), por lo que no contienen ningún mejoramiento o corrección en línea.

Tabla 1. Lluvia total y neta de eventos del período 2009-2010

Fecha	Lluvia total (mm)	Entorno de Se	Entorno de lluvia neta (mm)	Lluvia neta observada (mm)
19/11/09 al 23/11/09	89	0.25 0.32	28/30	28/30
19/12/09 al 23/12/09	71	0.50 0.66	16/20	19/22
24/12/09 al 31/12/09	78	0.79 0.95	14/28	23/28
04/01/10 al 10/01/10	83	0.82 0.95	35/46	29/34
12/01/10 al 14/01/10	48	0.83 0.95	18/24	12/15
03/02/10 al 10/02/10	97	0.62 0.81	31/39	28/33
15/02/10 al 18/02/10	36	0.83 0.95	5/10	15/18
19/02/10 al 25/02/10	64	0.87 0.95	26/33	31/37

Permanencia de los niveles

Un post proceso de importancia de los niveles pronosticados, lo constituye la determinación de la permanencia de los niveles por encima de umbrales asociados a desbordes establecidos a priori en el sistema de alerta en los sitios críticos con mayor vulnerabilidad. Si bien solamente en la crecida del 18/11/2009 hubo un desborde local en el sitio Bo. Nuevo Alberdi, las permanencias son monitoreadas en cada crecida. A modo indicativo puede mencionarse que en el período húmedo del 2008-2009 (aproximadamente 100 días) solamente se superó el nivel de 2.00 m en el sitio RTU20 por no más de 3 horas en los 5

eventos más lluviosos del período. En cambio en el período lluvioso aquí reportado, durante el mismo lapso de tiempo se observaron 139 horas con niveles por encima del mencionado umbral. Esta tendencia constituye un indicador, entre otros, acerca de lo húmedo del ciclo hidrológico 2009-2010 y alerta sobre la mayor probabilidad de presentación de escenarios críticos. La permanencia para niveles mayores a 2.00 m computada a partir de los resultados del modelo es de 175 hs. Si bien el protocolo de operaciones durante un episodio lluvioso prevé la determinación de la permanencia de niveles en sitios preestablecidos, a partir de la potencialidad del modelo físicamente basado distribuido cuasi 2D, la permanencia puede analizarse igualmente en cualquier celda del dominio espacial con las consideraciones de confianza de resultados que ameriten, de acuerdo al grado de información en detalle que se disponga del sector a analizar.

Llenado, volumen en tránsito y vaciado de la cuenca durante los eventos

A partir de la lluvia neta inferida, de los limnigramas observados y computados por el modelo, de los hidrogramas determinados a partir de la ley H-Q existente y de los hidrogramas computados por el modelo, se ha podido reproducir en un post proceso, la dinámica global de llenado y vaciado de la cuenca. Si bien esta información puede ser secundaria durante el evento, resulta de importancia para aportar conocimiento a la comprensión de la dinámica propagatoria de las crecidas. Además resulta claro que, en la medida que se mejore la información disponible en cada evento (hietogramas y limnigramas en sitios internos) mejorará notablemente el conocimiento base del movimiento y por ende contribuirá a un mejor pronóstico de niveles. En la Fig.4 se presentan las hidrogramas salientes (observado-inferido y calculado por el modelo), y las curvas de volumen almacenado o en tránsito por la cuenca y de volumen saliente en 2 crecidas.

Actualización de la información

Amerita ser reportada, la potencialidad que tiene la constitución del modelo VMMHH 1.0 (Riccardi et al., 2009) para que, de una manera rápida puedan incorporarse cambios geométricos y/o topográficos de cursos de agua o estructuras hidráulicas que se modifiquen o construyan durante la operación del modelo y puedan modificar de alguna manera la dinámica propagatoria superficial. Cabe mencionar el caso del canal Ibarlucea, que en

la zona del Bo. Nuevo Alberdi fue modificado fuertemente en su base de fondo y su profundidad para pasar de un canal trapezoidal de 6 m de base de fondo y 2 m de profundidad a un canal de 17.5 m de base de fondo y entre 4.0 y 5.0 m de profundidad. Este canal se amplió durante el período aquí reportado por lo cual la constitución del modelo en ese sector crítico fue actualizada en el inicio de cada episodio lluvioso en función de los reportes elaborados a partir de relevamientos en campaña.

Lag entre hietogramas y pico de crecidas

Los desfases temporales observados entre los centros de gravedad de la lluvia neta y los picos de los limnigramas fue también motivo de análisis. En el sitio RTU20 se ha observado que, al producirse una lluvia aproximadamente uniforme en toda la cuenca, un primer pico de la crecida se alcanza a unas 7-9 hs. de haberse alcanzado el centro de gravedad del hietograma neto, en tanto que un segundo pico se presenta a unas 20-24 horas. Al respecto se hipotetiza que el primer pico corresponde a una rápida respuesta de las zonas impermeables urbanas y periurbanas, en tanto que el 2do. pico obedece a mecanismos popagatorios asociados a la zona rural y la superposición de los caudales salientes de la presa de retención de crecidas. Un ejemplo del 2do pico lo ha constituido la lluvia sucedida el 19/11/2009 donde las mayores intensidades de precipitación se produjeron en la zona de Roldán a las 3:00, en tanto que el pico de la crecida se presentó en el sitio RTU20 entre las 22:00 y las 02:00 del día siguiente.

Por otra parte puede afirmarse que en caso de que la lluvia se focalice solamente en el sector sur de la cuenca, donde todo el escurrimiento se lamina en la presa, el máximo de la crecida alcanza el sitio RTU20 a 38-42 hs del centro de gravedad del hietograma.

Análisis de Resultados

La comparación de los limnigramas indica globalmente una satisfactoria aproximación entre los niveles observados y calculados. A partir de la comparación entre los niveles. El error porcentual entre los niveles máximos es variable en cada tormenta, determinándose un error porcentual promedio del 7% , con valores máximos y mínimo del error porcentual en el rango del 0.8 al 21%. Por otro lado en lo que concierne al cuerpo general del limnigrama se han establecido aproximaciones muy satisfactorias, especialmente en el caso de tormentas simples (serie de chaparrones con una duración total de

la tormenta de 6 a 12 horas) y aproximaciones regulares en el caso de tormentas compuestas, donde se produce una tormenta simple, se suceden 1 o 2 días sin lluvias y vuelve a precipitar otra tormenta simple. Cabe destacar que en la mayoría de las tormentas se contó con datos en línea de solo 2 pluviógrafos (Ibarlucea y Roldán) y en el caso de la lluvia del 19/11/2010 se contó también con datos del pluviógrafo de Zavalla. Por este motivo la descripción areal de la lluvia fue bastante gruesa y se ha verificado tras un post procesamiento que, cuando más heterogénea arealmente fue la precipitación, más dispersión hubo en los resultados. Este tipo de error es propio de modelo físicamente basado, el cual “no puede corregir” si la información es errónea o insuficiente. Una alternativa al mejoramiento es la definición de la arealidad de la lluvia mediante radar, mas aún teniendo presente que la zona de la cuenca es abarcada por el radar de Pergamino y el de Paraná, resulta obvio que otra solución consiste en el aumento del número de pluviógrafos. El número óptimo tentativo para la dinámica observada en esta cuenca se estima en 10.

Respecto a las comparaciones de los cuerpos globales de las diferentes ondas de crecidas observadas y calculadas puede afirmarse que el modelo atenúa demasiado el 1er pico que se presenta, en tanto que es satisfactoriamente el 2do. pico y la señal proveniente de la presa de retención. Al respecto se entiende que el modelo, por cuestiones de complicar en demasía la constitución, no tiene incorporado en su totalidad todas las redes locales de desagües pluviales en los ambientes urbanos cercanos a la sección de control, por lo cual resulta en efectos de atenuación mayores a los reales para el 1er. pico, también puede hipotetizarse que en la zona con mayor influencia tributaria sobre el 1er. pico se genera un mayor escurrimiento neto que el modelado empuntando algo mas el limnigrama.

En lo que concierne al llenado-vaciado de la cuenca y los caudales salientes en el sitio RTU20, el modelo genera caudales levemente inferiores a los inferidos a partir de los niveles observados y la curva H-Q. Para niveles inferiores a 3.00 m, los niveles calculados deben ser del orden de 3-5% superiores a los observados para determinar caudales similares. Si bien para la predicción de niveles la diferencia en caudales no es fuertemente relevante, desde lo conceptual de la modelación físicamente basada es un factor que debe mejorarse. De todas maneras el cuerpo general de la onda de crecida observada y sus tiempos característicos resultan satisfactoriamente representados por el

modelo por lo que no se considera necesario “acelerar” el mecanismo propagatorio de la crecida con una disminución generalizada de la resistencia al escurrimiento. Se entiende que el mejoramiento de la representación local en las cercanías del sitio logrará un mejoramiento de la respuesta.

La comparación de las permanencias observada y computada si fijamos el umbral de 2.00 m en el cauce principal en el sitio RTU20, indica que el modelo está determinando permanencia un 25% superiores a las observadas si contamos todas las tormentas. En cambio si descartamos el evento del 04/01/2010 esta sobreestimación cae al 12% por lo que se considera aceptable.

Conclusiones

Se han presentado los resultados obtenidos durante la operación del modelo de simulación hidrológica-hidráulica, físicamente basado, de parámetros distribuidos cuasi2D, utilizado como modelos de pronósticos de niveles VMMHH 1.0 en el sistema de alerta hidrológico del Arroyo Ludueña durante el período 2009-2010. Se evaluó la respuesta del modelo en 8 eventos de lluvia moderada.

Los niveles máximos han presentado una satisfactoria aproximación a los valores observados en un sitio cercano al cierre de la cuenca. En la medida en que puedan disponerse datos desde la mayoría de los sensores limnimétricos simultáneamente, se podrá avanzar en la confiabilidad de los resultados.

La indefinición de la variación areal de las lluvias se traduce directamente en incertidumbre del pronóstico. Es claro que 2-3 pluviógrafos no son suficientes para describir certeramente la lluvia, de la operación hasta la fecha del modelo surge la necesidad de medición en al menos 10 sitios.

El modelo reproduce satisfactoriamente también los tiempos característicos de la onda de crecida.

Se observa una mayor atenuación del modelo del 1er pico de la crecida, como así también la determinación de caudales ligeramente inferiores a los observados, por lo que se concluye acerca de la profundización del análisis para mejorar, en la medida de la disponibilidad de información durante los eventos, las diferencias observadas.

Debido al notorio nivel de cambios en la morfología de la red de canales debido a obras de canalización que se están llevando a cabo, es muy recomendable el continuo seguimiento de la constitución del modelo.

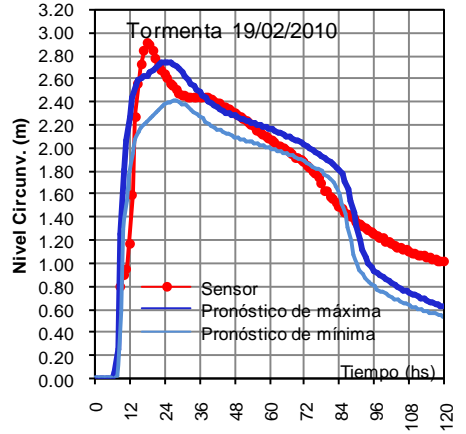
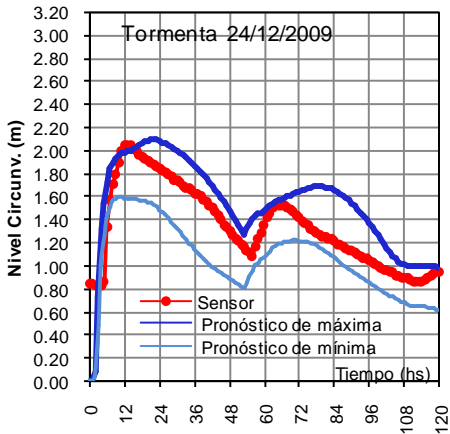
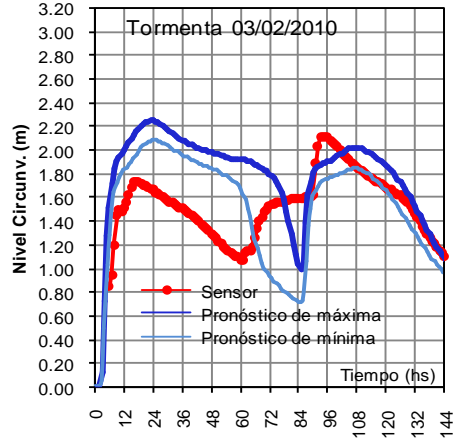
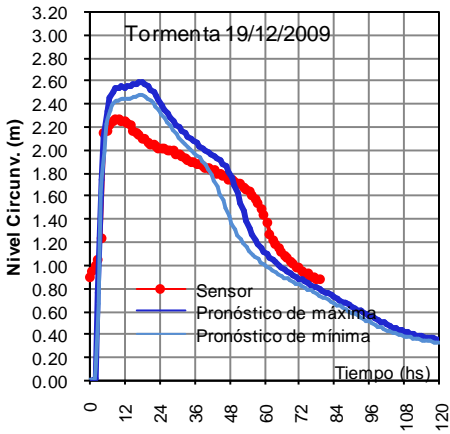
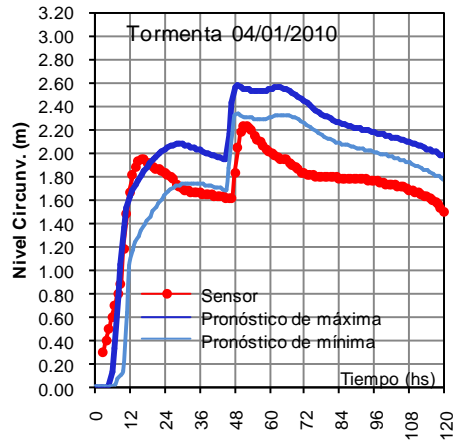
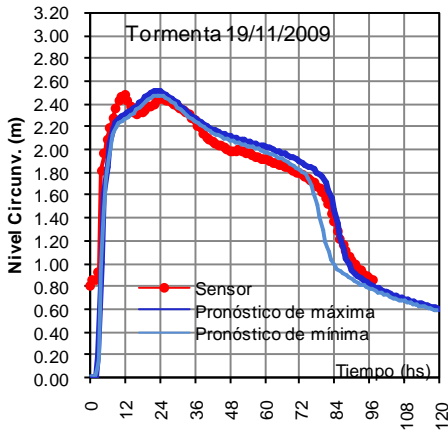


Fig. 3. Limingramas observados y calculados en primer fase de pronóstico para el sensor de Avda. de Circunvalación

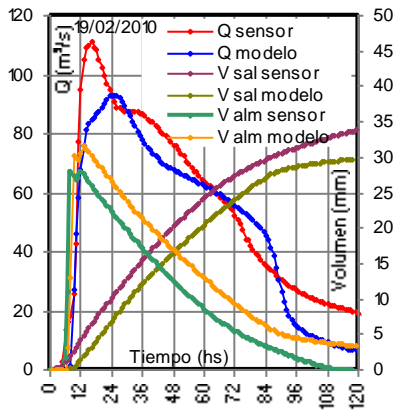
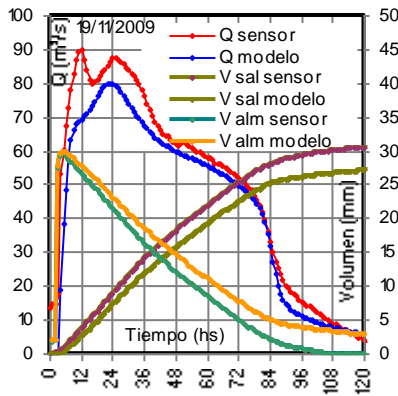


Fig. 4. Caudales y volúmenes salientes y almacenados

Agradecimientos

Se agradece el financiamiento aportado para la realización de los trabajos por el MASPyMA (Santa Fe) y por el proyecto PID UNR ING237 19/I263. Además se agradece la información brindada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.

Referencias

Riccardi, G., Zimmermann, E., Basile P., Stenta H., Scuderi, C., Rentería, J., (2009), Informe Avance 3, Re-Hidrología y Modelo de Pronósticos Arroyos Ludueña y Saladillo, Conv. FCEIA-MASP, Rosario. Argentina. 141 p.

Riccardi, G., Zimmermann, E., Basile P., Stenta H., Scuderi, C., Rentería, J., (2009), Informe Avance 4, Re-Hidrología y Modelo de Pronósticos Arroyos Ludueña y Saladillo, Conv. FCEIA-MASP, Rosario. Argentina. 83 p.

Riccardi G. (2000), Un Sistema de Simulación Hidrológica-Hidráulica Cuasi-2D Multicapa para Ambientes Rurales y Urbanos, XIX Cong. Latinoamericano de Hidráulica, T II, Córdoba, Argentina, 159-168.

Riccardi G., Zimmermann E., Basile P., Stenta H., Scuderi C., Garcia M. y Rentería J., (2008b), Implementación de Un Modelo De Escurrimiento Superficial en Cuenclas del Sur de la provincia De Santa Fe, Argentina, XXIII Cong. Latinoamericano de Hidráulica, Cartagena de Indias, Colombia. 15 p.

Riccardi, G. (2005), Código Computacional *Cuencador*, CURIHAM, FCEIA; Rosario (inédito)

Rentería, J., García P., Riccardi G., Zimmermann, E., Stenta, H., Scuderi, C. y Basile, P. (2009), Software de pronóstico de alerta contra inundaciones en las cuencas de los arroyos Ludueña y Saladillo (Santa Fe, Argentina), (2009), XXII Cong. Nacional del Agua, Trelew, Chubut.

Stenta, H., Rentería, J. y Riccardi, G. (2005), Plataforma computacional para gestión de información en la simulación hidrológica-hidráulica del escurrimiento superficial, XXº Cong. Nacional del Agua, Mendoza, Argentina.

Stenta, H., Riccardi, G., Zimmermann, E., Basile P., Scuderi, C., Rentería J., Odicini, L. (2010), Modelación Matemática Distribuida del Escurrimiento Superficial en Zona de Llanura y su Utilización en Sistema de Alerta Contra Inundaciones en la Cuenca del Aº Ludueña, I Cong. Internacional de Hidrología de Llanuras, Azul, Argentina (en revisión).

Zimmermann E., Basile P., López C., Riccardi G., Stenta H., Scuderi C. y Rentería J. (2009), "Condiciones antecedentes para la tormenta de diseño en el área del gran Rosario". XXII Cong. Nacional del Agua, Trelew, Chubut

Zimmermann E., Scuderi C., Riccardi G., Stenta H., Basile P., Garcia M. y Rentería J., (2008), "Asignación de Parámetros Hidráulicos de Suelos utilizando Composición Textural, Características Físicas y Estratigráficas", XXIII Cong. Latinoamericano de Hidráulica, Cartagena de Indias, Colombia.