

XXIV^o Congreso Nacional del Agua 2013

San Juan, 14 al 18 de Octubre de 2013

INSTRUMENTACIÓN Y MODELACIÓN HIDROLÓGICA SUPERFICIAL DE UNA CUENCA URBANA DE ALTA PENDIENTE DEL CENTRO DE MISIONES

D. Tomás Rodríguez^{1,2}, Hugo O. Reinert¹, Alejandro R. Ruberto³, Marcelo J. M. Gómez³, Miguel A. Aguirre, Adrián G. Aguirre⁴

¹ Departamento de Ingeniería Civil, FI-UNaM, ² Becario CONICET, ³ Grupo de Investigación del Departamento de Hidráulica, FI-UNNE, ⁴ Alumno de grado de Ingeniería Civil, FI-UNaM Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones
Juan Manuel de Rosas 325. Oberá (3360). Misiones. Argentina. Telefax: +54 (3755) 422170
Correo-e: rodriguezdt@fio.unam.edu.ar

RESUMEN

Con el objeto de obtener parámetros que representen la respuesta al escurrimiento superficial de una cuenca urbana piloto de alta pendiente, en la zona centro de Misiones, se instaló instrumental hidrométrico y meteorológico para realizar mediciones que permitan calibrar, modelar y validar hidrogramas de escurrimiento directo en cuencas urbanas de la ciudad de Oberá, Misiones.

Se seleccionó y trabajó con una cuenca que represente condiciones medias de urbanización y uso del suelo como viviendas, calles asfaltadas y/o empedradas, pasto, árboles, entre otros, adoptando como cuenca en estudio a la avenida Beltrame.

Para la caracterización se realizó un relevamiento lote por lote de la cuenca para determinar usos del suelo y áreas impermeables directa e indirectamente conectadas que tienen relación directa en la generación del caudal.

Con la instalación de un pluviómetro digital en la Universidad Nacional de Misiones, que dista 815m de la sección de control, más el acondicionamiento del canal de mediciones en la sección de salida, se lograron registrar hietogramas e hidrogramas de respuestas para cuatro eventos.

La calibración y modelación de los parámetros característicos del escurrimiento se llevó a cabo con la utilización del modelo ArHymo V.2.0.

La cuenca tiene un área de aporte de 10,38ha, con 63,5% de áreas impermeables y 45% del total directamente conectado.

Las pérdidas fueron evaluadas con el método de la Curva Número del SCS, siendo que para humedad antecedente tipo I (seco) los valores calibrados fueron de $CN = 82$ e $Ia = 11,2\text{mm}$ y para humedad antecedente tipo III (húmedo) CN de 95,6 e Ia de 2,4mm.

Las tormentas que mejor ajustaron evidencian un coeficiente de embalse lineal (K) para áreas permeables de entre 0,9min a 3,6min. Mientras que para áreas impermeables coinciden en un $k = 0,6\text{min}$, valor considerablemente menor a los recomendados por la bibliografía, que sugieren grandes velocidades de respuesta en este tipo de cuencas.

El coeficiente de escorrentía varía entre 0,46 a 0,74 dependiendo de la intensidad de la tormenta y la humedad antecedente.

Los caudales pico y tiempos han pico han logrado un ajuste aceptable, con errores menores a 2% en los caudales y desfases menores a 0,36 minutos los segundos.

Palabras clave: cuencas urbanas – altas pendientes – calibración – modelación hidrológica.

INTRODUCCIÓN

Existe marcada tendencia mundial a la concentración de la población en urbes cada vez más densas (Jha et al, 2011), (Bertoni y Tucci, apud FNUAP, 2003).

Con desigual distribución según el continente, América del Sur es la de mayor tendencia a la concentración urbana, casi cercano a 80% a principio de siglo (Tucci y Bertoni, 2003).

Las grandes urbes sudamericanas son: Buenos Aires (13.000.000hab), San Pablo (20.000.000hab), Lima (8.000.000hab), La Paz (3.000.000hab), Río de Janeiro (6.000.000hab), Santiago de Chile (6.000.000hab) lo cual indica marcada tendencia continental a aglomeraciones en grandes ciudades y capitales, como también en ciudades más pequeñas pero próximas a las capitales que forman conurbes y ciudades satélites a sus alrededores.

Generalmente la planificación territorial viene más lenta que la ocupación, por lo que en muchas de las ciudades aparecen problemas de drenaje producto de falta de planificación y/o construcción de obras y también falta de aplicación de medidas no estructurales de prevención.

Ciudades del NEA argentino y de Misiones no escapan a condiciones medias de la problemática mundial; en Oberá, la cobertura vegetal del suelo original atenuaba el escurrimiento, pero a medida que avanzó la urbanización en los últimos cincuenta años, aparecen inconvenientes por falta de planificación en la ocupación del suelo como anegamientos y erosiones.

Lindh y Niemczynowicz (1991) aseguran que para diagnosticar el sistema existente e implementar modelos avanzados (lluvia-escurrimiento) y para la evaluación del efecto sobre el receptor local, deben ser recogidos datos específicos y poseer modelos adaptados al escenario local.

Dunne (1986) y Maksimovic (1992) han señalado también que la falta de datos confiables es uno de los obstáculos para la aplicación de modelos apropiados a sistemas de drenaje urbano.

La falta de planificación e inexistencia de un Plan Director de drenaje pluvial urbano en Oberá, que defina el diagnóstico, acciones a futuro, plan de acción, recomendaciones de futuras expansiones y posibles usos recomendados, hacen que aparezcan inconvenientes en el drenaje como los precedentemente citados.

La modelación hidrológica se constituye como una herramienta rápida y económica para representar diferentes alternativas de predicción del comportamiento hidrológico - hidráulico generados por eventos de variadas magnitudes y recurrencias.

OBJETIVO

Calibración, modelación y validación de eventos hidrometeorológicos, de un modelo de respuesta hidrológica en una micro cuenca urbana de Oberá, Misiones; mediante la caracterización fisiográfica de la cuenca y las variables que definen su comportamiento en el escurrimiento superficial, a fin de elaborar un modelo de respuesta hidrológica.

ANTECEDENTES REGIONALES

Son citables estudios e investigaciones realizados por el Grupo de Investigación del Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería - UNNE (Depettris et al, 2011), que han generado un conjunto de trabajos que permiten fundamentar e inferir que el problema de inundaciones urbanas del NEA Argentino posee base de puntos en común, como por ejemplo en las ciudades de Formosa, Corrientes, Posadas, Goya, Oberá y otras geomorfológicamente similares.

Depettris et. al. (2008 y 2009), Ruberto et. al. (2009 y 2010), Kutnich (2009 y 2010) han realizado estudios de procesos hidrológicos urbanos en la región del NEA y hacen hincapié en la necesidad de contar con modelos hidrológico calibrados utilizando registros locales, dadas las diferencias de valores característicos de determinados parámetros de respuesta propuestos por otros autores y la importancia del análisis de la ocupación del suelo y caracterización de la cobertura vegetal, de relación directa con valores de abstracciones iniciales e incluso variables en diferentes estaciones del año.

También se hace referencia a la complejidad y necesidad de caracterizar correctamente las microcuencas urbanas para una correcta interpretación de los resultados.

Generalmente los hidrogramas registrados no se encuentran completamente aforados, sino que cuentan con puntos medidos, algunos cercanos a caudales picos, otros dispersos, que dan idea de la tendencia del hidrograma, debiendo ser reconstituidas las ramas de los mismos por medio de modelaciones matemáticas, con base en coeficientes fijos y que, a veces, se consideran constantes para cualquier evento. Se destaca que varios de los eventos estudiados corresponden a tormentas complejas donde los hietogramas debieron desagregarse para estudiar aquellos que realmente producían lo medido en el aforo.

Kutnich (2009) calibró distintos eventos, aforados en una micro cuenca urbana de Resistencia (de 4,77ha), obteniendo parámetros de calibración que difieren en algunos de los recomendados por la bibliografía, donde hace referencia a la complejidad y necesidad de registrar datos hidrometeorológicos para aproximarse a la calibración al utilizar modelos de simulación, con énfasis en eventos de baja intensidad.

Se trabaja en el Departamento de Hidráulica-UNNE y el CURIHAM-FCEIA-UNR, desde 1995 en desarrollos y aplicaciones de diversas variantes de un modelo matemático hidrológico-hidráulico cuasi-2D, físicamente basado para el desarrollo local de simulaciones físicamente basadas, que generen y propaguen flujo superficial y aporten a la modelación hidrológica-hidráulica de escurrimiento superficial, con capacidad de simulación en ambientes rurales y urbanos, en grandes ríos y el acople de modelos morfológicos capaces de reproducir erosión – sedimentación en cuencas y cursos de agua (Riccardi, 2001; Riccardi et al, 2005 y 2010; Basile et al, 2007 y 2010). Se destaca la experiencia obtenida en el desarrollo de tecnologías propias, e indica lo ventajoso de la posibilidad de intercambiar técnicas de modelación, tanto para flujo como para sedimentos. Además, con relativo bajo costo, poder desacoplar los procesos hidrológicos y ensamblar esquemas combinados adecuándolos a cada problemática hídrica.

Para el análisis hidrológico en ambientes urbanos con características similares a zonas serranas misioneras, con altas pendientes, intensas precipitaciones y grandes volúmenes, se debe citar a trabajos como el de Maksimovic et al (1993) donde se resalta la importancia de contar con datos locales para la correcta evaluación y posterior ejecución de obras.

MATERIALES

Características de la cuenca en estudio

Seleccionada con criterios que representen condiciones medias de urbanización propias de zonas urbanas de Misiones, con punto de control bien definido y de fácil acceso, se escogió como cuenca piloto a la Beltrame, que toma el nombre de la avenida que oficia como receptora de los excesos pluviales y posterior salida y se ubica en el centro de la ciudad de Oberá, Misiones.

La sección de salida fue materializada en una boca de tormenta (punto de control, figura 1), luego un canal a cielo abierto de sección rectangular, revestido, donde se realizaron mediciones del caudal de salida.

El área de la cuenca es 10,4ha; pendiente media 5,7% y sus límites se muestran en la figura n°1:

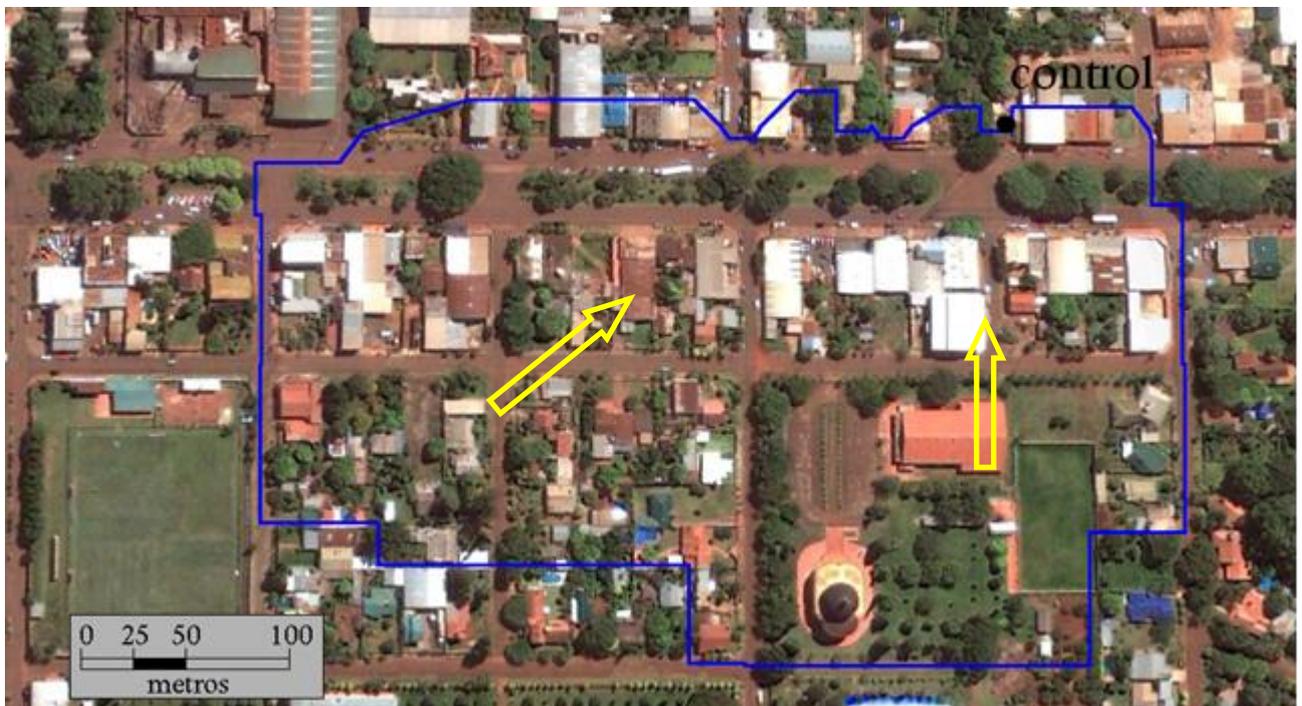


Figura 1. Cuenca Beltrame (mayo 2010, fuente: Google earth).

Usos actuales del suelo

Para las corridas del modelo, es necesario conocer los usos y ocupaciones del suelo de la cuenca, puesto que se presentan como una variable fundamental para el comportamiento de los excesos superficiales ante los pulsos de lluvia.

Se aplicaron varias metodologías para comparar resultados y seleccionar el más preciso:

- Confección de un plano general con medidas catastrales de lotes y calles, respetando las dimensiones de calzada y vereda descritas en los respectivos planos catastrales.
- Relevamiento e inspección lote por lote de los usos de suelo y otras características de relevancia como medidas reales de lotes y calles, ingresando a los mismos y encuestando a propietarios en los casos que fue posible.
- Trabajo con imágenes aéreas para detectar casos particulares que pudieron no haber sido divisados durante el trabajo de campo.

Los datos recabados fueron:

Tabla 1. Usos del suelo en la cuenca Beltrame (año 2012).

Área total 103.812 m ²	Superficies impermeables	64.194 m ²	61,84%	Directamente conectados	45.522 m ²	43,85%	Techos DC	19.021 m ²	18,32%
							Pisos DC	6.357 m ²	6,12%
							Veredas Impermeables	5.965 m ²	5,75%
							Pavimento flexible	12.452 m ²	12,00%
							Badenes	450 m ²	0,43%
							Cunetas	1.276,48 m ²	1,23%
	Superficies permeables	39.618 m ²	38,16%	Indirectamente conectados	18.672 m ²	17,99%	Techos IC	10.133m ²	9,76%
							Pisos IC	3.411 m ²	3,30%
							Empedrado brasileiro	5.119 m ²	4,93%
							Pastos	23.852 m ²	22,98%
							Árboles	11.238 m ²	10,83%
							Suelos desnudos	4.528 m ²	4,36%
Suelos protegidos	35.090 m ²	33,80%	Suelos desnudos	4.528 m ²	4,36%	Veredas permeables	2.533 m ²	2,44%	
						Suelos desnudos	1.994 m ²	1,92%	

Referencias:

DC: directamente conectado

IC: indirectamente conectado

Instrumental de medición de la precipitación

Se contó con los de la estación meteorológica experimental, Facultad de Ingeniería de Oberá – UNaM, en el predio de la misma, a 850m del baricentro de la cuenca en estudio. Fue posible medir precipitaciones con intervalos de un minuto y precisión de 0,2mm.

Precipitación

Tormenta del 1 de octubre de 2012

Durante el evento del día 1-oct-2012 llovió 15,2mm en 45 minutos, con intensidad máxima de 84mm/h. La discretización del hietograma registrado y su curva masa, se observan en la figura 2.

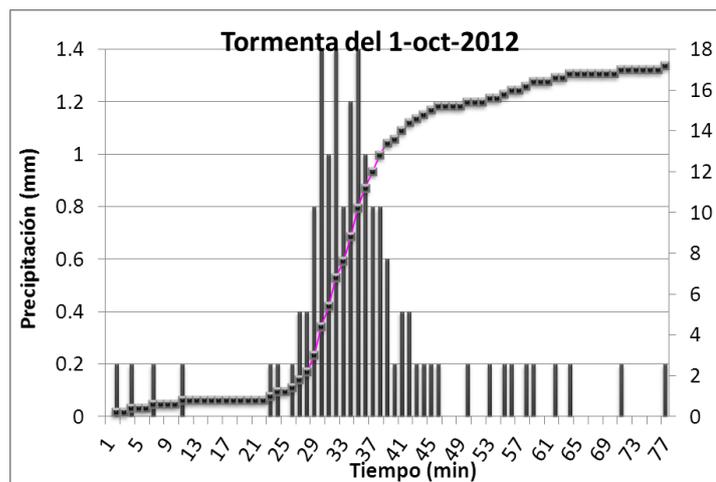


Figura 2. Hietograma y curva masa de la tormenta del 1 de octubre de 2012.

Tormenta del 15 de octubre de 2012

Durante el evento del 15-oct-2012 precipitó 14,6mm en 59 minutos, con intensidad máxima de 84mm/h. El hietograma registrado y su curva masa, se observan en la figura 3.

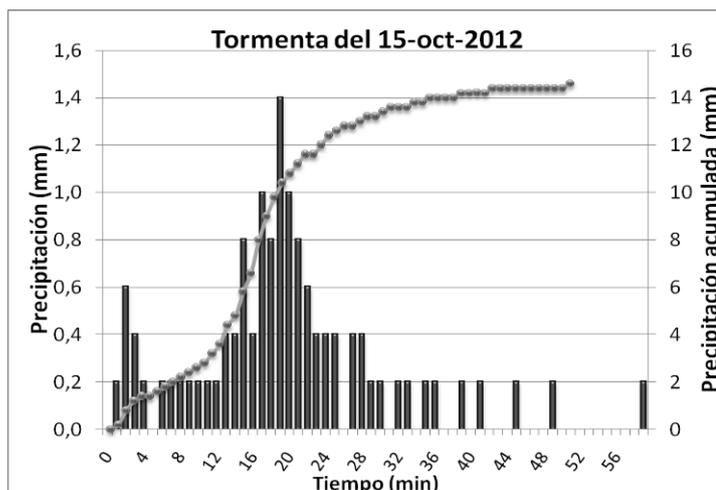


Figura 3. Hietograma y curva masa de la tormenta del 15 de octubre de 2012.

Tormenta del día 4 de diciembre de 2012

Precipitó un total de 5,2mm en 102 minutos, con una intensidad máxima de 36mm/hs, La discretización del hietograma registrado y su curva masa, se observan en la figura 4.

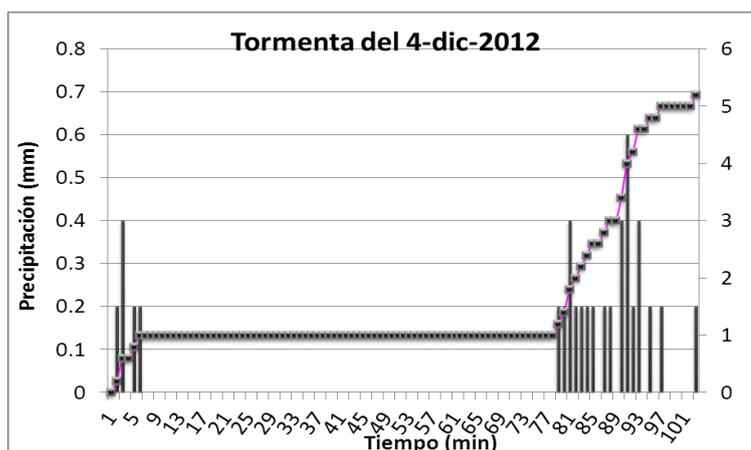


Figura 4. Hietograma y curva masa de la tormenta del 4 de diciembre de 2012.

Tormenta del 5 de diciembre de 2012

Precipitó 14,4mm en 66 minutos, con intensidad máxima de 96mm/h. El hietograma y su curva masa, se observan en la figura 5.

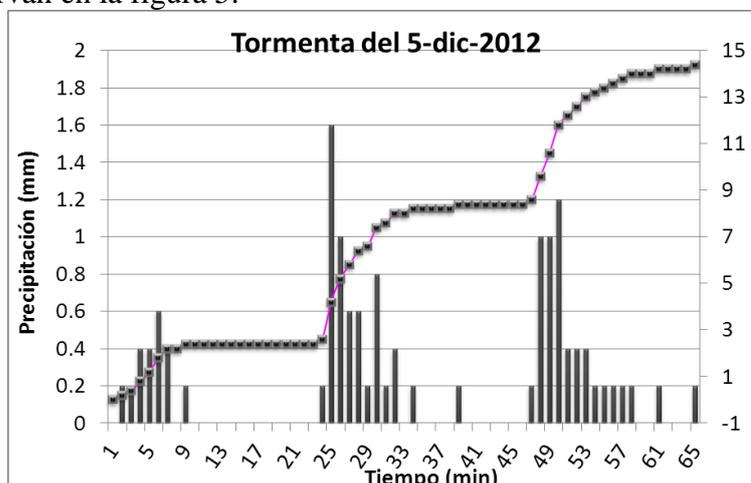


Figura 5. Hietograma y curva masa de la tormenta del 5 de diciembre de 2012.

METODOLOGÍA

Medición de la escorrentía superficial

El punto de control de la cuenca fue materializado por un canal con solera de hormigón y paredes de mampostería revocadas. Se dispone de una sección con desnivel transversal de 5cm entre eje del canal y paredes del mismo con el fin de medir pequeños tirantes. Se instalaron escalas hidrométricas para medir el tirante de agua y poder determinar el caudal (ver figuras 6.a y b).

Para la determinación de caudales se utilizó la relación altura- caudal de la sección, conociendo la misma y con la ecuación de Chezy-Manning se calculó la velocidad media, ponderando la rugosidad η_p , función del tirante en la sección; y considerando cambio de rugosidades en paredes y lecho de canal, según (López Andrés, 1999):

$$\eta_p = \sqrt{\frac{P_m^l \cdot \eta_l^2 + P_m^r \cdot \eta_r^2}{P_m^l + P_m^r}} \quad (1)$$

Para el lecho, constituido de hormigón nuevo, se adoptó η_l igual a 0,015 y las paredes con revoque grueso antiguo tendrán rugosidad η_r de 0,018. En la ecuación (1) P_m^l y P_m^r los perímetros mojados del lecho y el revoque respectivamente.

Con la velocidad media del canal, se calculó el caudal con la relación sección - velocidad.

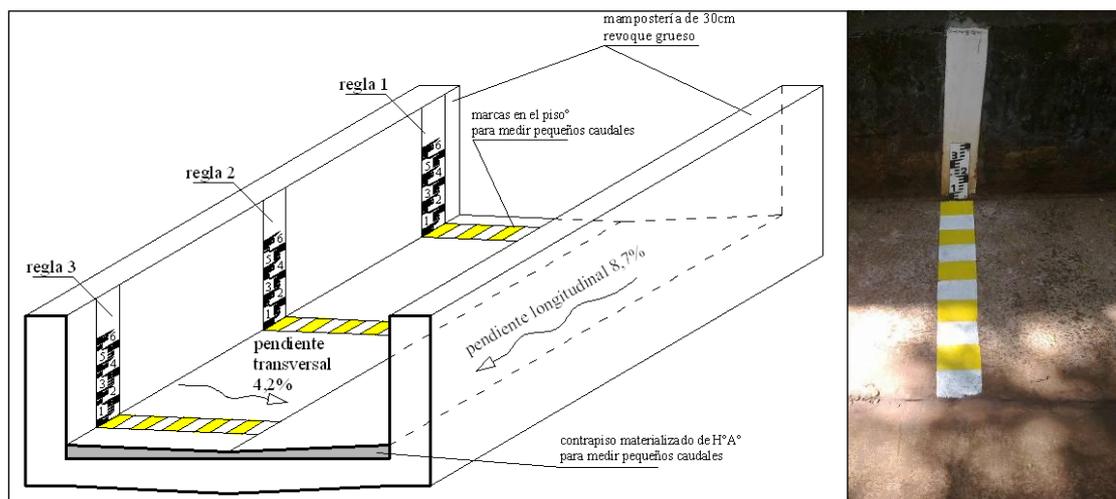


Figura 6 a y b: Canal de control y reglas limnimétricas.

Bases para la modelación hidrológica

Se utilizó el modelo ArHymo V2.0, Maza y otros (1996), del Instituto Nacional del Agua Argentino; el cual trabaja con rutinas de cuencas urbanas o rurales, conceptualizando diferencias de tamaño, funcionamiento y otras; con la rutina URBHIDRO para una cuenca urbana.

Una de las discretizaciones más importantes que realiza el modelo es la separación entre áreas permeables en impermeables, donde cada superficie de aporte genera un hidrograma unitario como embalse lineal (Chow et al, 1994) donde:

$$S = k \cdot Q \quad (2)$$

Según la ecuación (2) la descarga en un instante dado es proporcional al almacenamiento dentro de la misma para ese instante e inversamente proporcional al coeficiente de almacenamiento k .

En el modelo el tiempo al pico (t_p) es definido como tiempo comprendido entre los baricentros del hietograma de precipitación efectiva y del hidrograma unitario e igual a k .

En cuencas urbanas es posible distinguir superficies impermeables directa e indirectamente conectadas, donde en las segundas el agua circula por áreas permeables antes de alcanzar el sistema de drenaje; parte del escurrimiento de estas superficies se infiltra y el escurrimiento producido será menor que el del sector impermeable directamente conectado.

RESULTADOS

Calibrados los parámetros con estudios precedentes, fue posible medir cuatro eventos, correspondientes a los días 1 de octubre, 15 de octubre, 4 de diciembre y 5 de diciembre de 2012.

Tormenta del 1 de octubre de 2012

Parámetros adoptados

Han sido iguales para todas las tormentas analizadas y son: intervalo de tiempo: 0,25min, pendiente del plano de escurrimiento cinemático de zonas permeables e impermeables 5,73%, longitud del plano de escurrimiento cinemático de zonas permeables e impermeables 150m, rugosidad del plano de escurrimiento cinemático de la zona permeable 0,150; rugosidad del plano de escurrimiento cinemático de la zona impermeable 0,015 (Chow et al, 1994).

Parámetros calibrados

Humedad antecedente I; curva número obtenida: 82; abstracción inicial 11,2mm; almacenamiento por depresiones en zonas permeables e impermeables 0mm; coeficiente de almacenamiento del embalse lineal en zonas permeables 0,9min e impermeables 0,6min; rugosidad de Manning del lecho 0,015 y paredes del canal 0,018.

Resultados de la modelación

El caudal pico resultante fue de $0,94\text{m}^3/\text{s}$, y medido igual a $0,95\text{m}^3/\text{s}$; tiempo al pico observado de 9,6min, coincidente con el modelado; la precipitación en exceso fue de 7mm y el coeficiente de escorrentía 0,46. Coeficiente de correlación de la modelación 0,75. En la figura 7 se observan los valores de caudales observado y el resultado de la modelación.



Figura 7. Hidrogramas medido y modelado, tormenta 1-oct-2012.

Valores K de referencia en zonas impermeables

K1 (Desbordes) = 6,54min; K2 (Desbordes) = 6,93min; K3 (Viessman) = 3,31min; K4 (Rao et al.) = 7,01min; K5 (Maza et al.) = 5,47min.

Tormenta del 15 de octubre de 2012

Parámetros calibrados

Humedad antecedente III; curva número: 96; abstracción inicial 2,4mm; almacenamiento en depresiones en zonas permeables e impermeables 0mm; coeficiente de almacenamiento del embalse lineal en zonas permeables 4,8min e impermeables 0,6min; coeficiente de rugosidad de Manning del lecho 0,015 y paredes del canal 0,018.

Resultados de la modelación

Caudal pico calculado de $1,01\text{m}^3/\text{s}$, y medido igual a $1,03\text{m}^3/\text{s}$; tiempo al pico observado de 23min y del modelo de 21,9min; precipitación en exceso de 10,8mm y coeficiente de escorrentía de 0,74. Dicha modelación resulta con un coeficiente de correlación de 0,92. En la figura 8 se observan los valores de caudales observado y el resultado de la modelación.

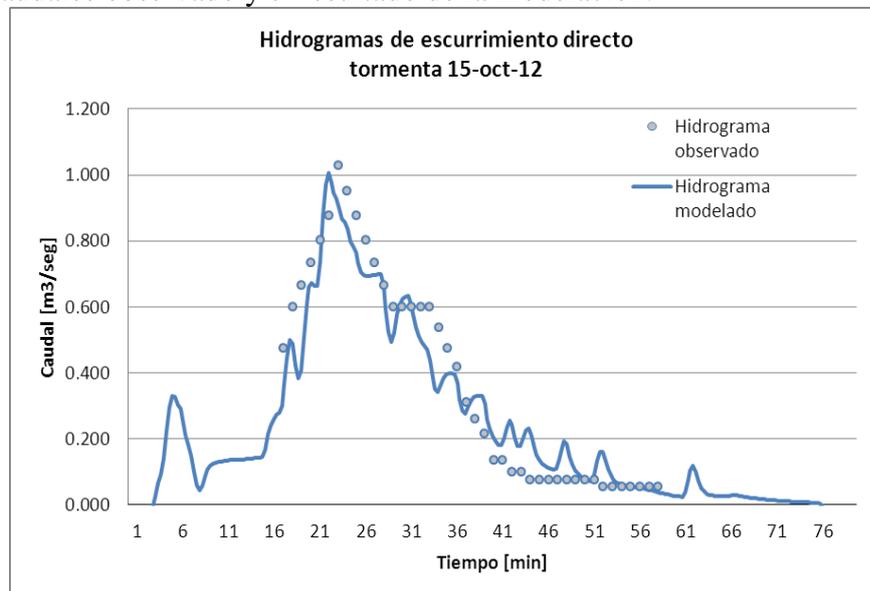


Figura 8. Hidrogramas medido y modelado, tormenta 15-oct-2012.

Valores K de referencia en zonas impermeables

Del programa se pueden obtener valores de referencia para los coeficientes de embalse lineal para zonas impermeables desarrollados por diversos autores (Maza et. al. 1996): K1 (desbordes) = 6,54min; K2 (desbordes) = 7,47min; K3 (Viessman) = 3,01min; K4 (Rao et. al.) = 7,81min; K5 (Maza et al.) = 5,31min.

Tormenta del 4 de diciembre de 2012

Parámetros calibrados

Humedad antecedente III; curva número obtenida: 96; abstracción inicial 2,4mm; almacenamiento en depresiones en zonas permeables e impermeables 0mm; coeficiente de almacenamiento del embalse lineal en zonas permeables 6min e impermeables 0,9min; coeficiente de rugosidad de Manning del lecho 0,014 y paredes del canal 0,018.

Resultados de la modelación

Caudal pico calculado de $0,33\text{m}^3/\text{s}$, igual al medido; tiempo al pico observado de 18,6min coincidente con el modelado; la precipitación en exceso de 2,8mm y el coeficiente de escorrentía de

0,54. Dicha modelación resulta con un coeficiente de correlación de 0,67. En la figura 8 se observan los valores de caudales observado y el resultado de la modelación.

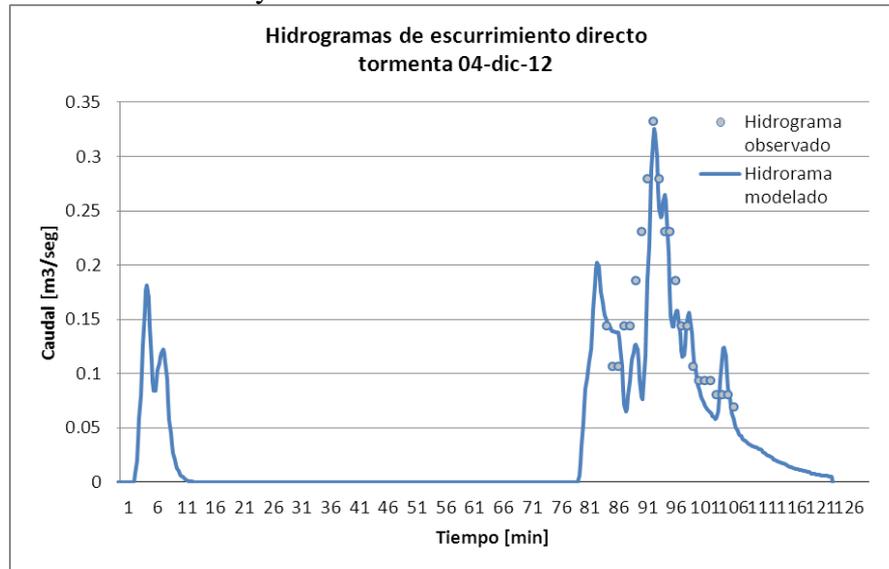


Figura 8. Hidrogramas medido y modelado, tormenta 4-dic-2012.

Valores K de referencia en zonas impermeables

K1 (Desbordes) = 6,54min; K2 (Desbordes) = 7,07min; K3 (Viessman) = 3,01min; K4 (Rao et al.) = 8,39min; K5 (Maza et al.) = 4,61min.

Tormenta del 5 de diciembre de 2012

Parámetros calibrados

Humedad antecedente III; curva número obtenida: 96; abstracción inicial 2,4mm; almacenamiento en depresiones en zonas permeables e impermeables 0mm; coeficiente de almacenamiento del embalse lineal en zonas permeables 3,6min e impermeables 0,6min; coeficiente de rugosidad de Manning del lecho 0,015 y paredes del canal 0,018.

Resultados de la modelación

Caudal pico calculado de 0,94m³/s, y medido igual a 0,94m³/s; tiempo al pico observado de 11,7min coincidente con el modelado; precipitación en exceso de 10,7mm y coeficiente de escorrentía 0,74. Coeficiente de correlación de 0,92. En figura 9 se representa lo antedicho:

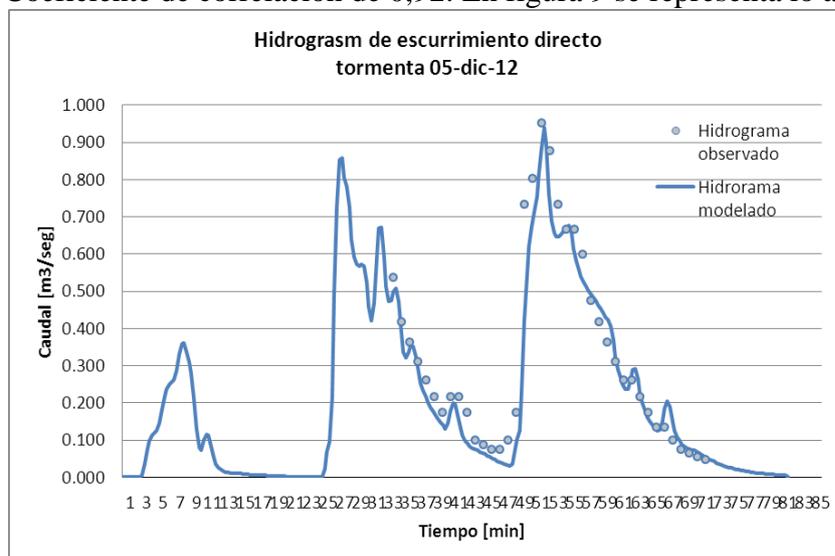


Figura 9. Hidrogramas medido y modelado, tormenta 5-dic-2012.

Valores K de referencia en zonas impermeables

K1 (Desbordes) = 6,54min; K2 (Desbordes) = 7,24min; K3 (Viessman) = 3,01min; K4 (Rao et al.) = 7,49min; K5 (Maza et al.) = 5,35min.

RESULTADOS

Se presenta una síntesis (tabla 2) y comparación de los resultados de las modelaciones para los cuatro eventos.

Tabla 2. Resumen de las corridas para los cuatro eventos.

Variable o parámetro		1/oct/2012	15/oct/2012	4/dic/2012	5/dic/2012	
Tormenta	Precipitación total	[mm]	15,2	14,6	5,2	14,4
	Precipitación en exceso	[mm]	7	10,8	2,8	10,7
	Intensidad máxima	[mm/h]	84	84	36	96
	Intensidad máxima efectiva	[mm/h]	40	60	25	60
Modelación	Caudal máximo observado	[m ³ /s]	0,95	1,03	0,33	0,95
	Caudal máximo modelado	[m ³ /s]	0,95	1,01	0,33	0,94
	Diferencia	[%]	0,6	2,2	1,8	1,2
	Tiempo al pico observado	[hs]	9,63	20,60	18,55	11,68
	Tiempo al pico modelado	[hs]	9,63	20,61	18,55	11,69
	Diferencia	[min]	0	0,3	0,06	0,36
	Escorrentía	[mm]	7	10,8	2,8	10,7
	Coefficiente de escorrentía	[adm]	0,46	0,74	0,54	0,74
	R ²	[adm]	0,75	0,92	0,67	0,92

CONCLUSIONES

Es posible decir que los ajustes alcanzados para las distintas tormentas han sido aceptables.

Los coeficientes de embalse lineal en áreas impermeables son significativamente menores a los recomendados en la bibliografía; por ello es necesario seguir con investigaciones y desarrollos regionales con datos y mediciones locales, para mejor calibración, modelación y validación de procesos hidrológicos propios de esta zona.

Las tormentas de los días 15-oct y 5-dic de 2012, con monto total de lluvia de 14,6mm y 14,4mm, respectivamente, son precipitaciones de escaso volumen e intensidad y el coeficiente de escorrentía es elevado e igual a 0,74, lo cual podría prever que para tormentas de gran intensidad, frecuentes en la zona, podría ser esperable un C mayor y con mayores volúmenes de escurrimiento superficial y caudales picos.

Se ha avanzado en la calibración de parámetros que rigen el escurrimiento en zonas urbanas, de alta impermeabilidad y altas pendientes; ello fue posible con estas cuatro mediciones de eventos que, si bien han sido de poco monto llovido, pero fue posible medirlos, calibrarlos y modelarlos con muy buena precisión.

Para mejor validación del modelo es necesario continuar con mediciones que permitan lograr el ajuste de una serie de eventos pluviométricos representativos de la zona.

BIBLIOGRAFIA

- Basile, P. A. et al** (2007). “*Water and sediment yield simulation at basin scale by coupling a hydrologic-hydraulic model with MUSLE*” (in Spanish). XXI Congreso nacional del agua. Tucumán.
- Basile P.A. et al** (2010). “*Simulation of erosion-deposition processes at basin scale by a physically-based mathematical model*” Intern. Journal of sediments research ISSN: 1001-6279; Pekin, China, 25; pág. 91-109.
- Chow V. T. et al** (1994). “*Hidrología aplicada*”; Ed. Mc Graw-Hill. Colombia.
- Depettris C. A. et al** (2011). “*Estudio de la hidrología urbana del nordeste argentino*”. Ed. Hanne. Salta. 246p.
- Depettris C. A. et al** (2008). “*Hidrología urbana: instrumentación de una microcuenca en la ciudad de Resistencia*”. Comunicaciones científicas y tecnológicas 2008, SGCyT - UNNE. Resistencia, Chaco.
- Depettris C. A. et al** (2009). “*Hidrología urbana: instrumentación y evaluación del escurrimiento superficial en una microcuenca de Resistencia, Chaco*”. Congreso nacional del agua CONAGUA 2009. Trelew, Chubut. 12pag.
- Dunne T.** (1986). “*Urban hydrology in the tropics: problems, solutions, data collection and analysis*”. In: Urban Climatology and its Applications with Special Regard to Tropical Areas (Proc. WMO Technical Conference, Mexico DF, November 1984. WMO N° 652, WMO, Geneva, Switzerland.
- FNUAP. Fondo de Población de las Naciones Unidas:** <http://www.unfpa.org/about/report/2001/esp/index.htm>
- Jha A. K. et al** (2011). “*Cities and flooding. A guide to integrated urban flood risk management for the 21st Century*”. The Word Bank, Washington DC, US. 638 pág.
- Kutnich E.** (2009). “*Generación y análisis de información relacionada con los procesos hidrológicos urbanos – Etapa IP*”. Informe final de beca de pregrado, Secretaría General de Ciencia y Técnica, Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Chaco. 70pag.
- Kutnich E. et al;** (2010). “*Generación de información referente a los procesos hidrológicos urbanos en una microcuenca del AMGR*”. Concurso secretaria general de ciencia y técnica UNNE. Resistencia, Chaco. 4pag.
- Lindh G. y Niemczynowicz J.** (1991). “*Urban water problems in the humid tropics*”. Int. Colloquium on the Development of Hydrologie and Water Management Strategies in the Humid Tropics. Brazil.
- López Andrés L.** (1999). “*Problemas de hidráulica*”. Publicaciones Universidad de Alicante. San Vicente del Raspeing. España. 333 pág.
- Maksimovic C.** (1992). “*Local floods in urban areas - natural disaster or lack of proper mitigation*”. First International Conference on Disaster Prevention in Urban Areas. Tehran. Iran.
- Maza J. et al** (1993), “*Modelo AR-HYMO*”, Manual del usuario, INA-CRA, Mendoza.
- Ruberto A. et al** (2009). “*Análisis y discusión de las pérdidas iniciales en una microcuenca urbana de llanura*”. Congreso nacional del agua CONAGUA 2009. Trelew, Chubut. 11pag.
- Ruberto A. et al.** (2010). “*Determinación de coeficientes de hidrogramas sintéticos en cuencas urbanas de llanura*”. Congreso internacional de hidrología de llanuras. Azul, Buenos Aires. 7pag.
- Riccardi G. A.** (2001). “*Un Sistema de Simulación Hidrológica-Hidráulica Cuasi-2D Multicapa para Ambientes Rurales y Urbanos*”, Tesis Doctoral, FCEF y N, UNC, Córdoba.
- Riccardi G. A. et al** (2005), “*Ajuste regional de predictores de erosión de suelos cohesivos*”, XX Congreso Nacional del Agua, Mendoza, Argentina. CD-Rom.
- Riccardi G. et al** (2010), “*Experiencias de simulación físicamente basada de escurrimiento superficial en cuencas de llanura en ambientes rurales y urbanos. Hacia la gestión integrada de recursos hídricos*”. Ed. Martin, Mar del Plata. Pág. 163-170.
- Tucci C. y Bertoni J.** (2003). “*Inundaciones urbanas en América del Sur*”. Global Water Partnership. World Meteorological Organization. ABRH, Porto Alegre, Brasil. 150 pág.