

MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE GRILLA EN ZONAS DE LLANURA: MOVIMIENTO MULTIDIRECCIONAL DEL AGUA

GRID-BASED HYDROLOGICAL MODEL IN AREAS OF PLAIN: MULTI DIRECTIONAL MOVEMENT OF WATER

Scioli, Carlos C.¹ y Villanueva, Adolfo²

Resumen

El agua sobre el terreno en áreas de llanura escurre en forma desordenada, indefinida e imprevisible, siendo los escurrimientos en este caso areales, mantiformes, etc. Para estudiar el escurrimiento sobre la superficie del terreno en estos sistemas se realizó un análisis del movimiento multidireccional del agua sobre el terreno utilizando una modelación hidrológica distribuida.

El análisis mostró que el agua no escurre por un único camino y que la superficie de las AAP a las secciones de salida son dinámicas. Por esto no existe una única relación entre el agua caída en el área de aporte y los caudales medidos en un punto de salida, entonces el concepto de cuenca no es aplicable en estos sistemas.

Las técnicas convencionales utilizadas para monitorear la respuesta de cuencas no son suficientes para cuantificar la respuesta de estos sistemas, por ello se proponen y se ponen en discusión métodos alternativos para cuantificar la respuesta de estos sistemas.

Palabras claves: modelación hidrológica distribuida - dirección escurrimiento - sistemas de llanura

Abstract

The water on land in areas of plain drain untid, indefinite and unforeseeable form, this case the runoffs is areales, mantiformes, etc. The study in these systems the runoff on the surface of terrain was realized with analyzes the multidirectional movement of water using a distributed hydrological modeling.

The analysis showed that the water does not drain for the only way and the surface of the contributing areas to several "basin exit points" they are dynamic. Due to this does not exist relation between the water fallen in the contributing areas and the flows measured in a exit points, at the time the concept of basin is not applicable in these systems.

The conventional technical used to monitor the response of basins are not sufficient to quantify the response of these systems. This study propose and put in discussion on alternative methods to quantify the response of these systems.

Keywords: distributed hydrological modeling - direction runoff - systems plain

INTRODUCCIÓN

En zonas de bajo relieve "el agua sobre el terreno no tiene una única dirección de escurrimiento, cabe recordar que el agua escurre en forma desordenada, indefinida e imprevisible, siendo los escurrimientos en este caso areales, mantiformes, etc.", comentan Fertoni y Prendes (1983). Esto provoca que durante las inundaciones, el concepto de convergencia del escurrimiento hacia una red de drenaje que es la principal vía de movimiento del agua no sea aplicable. La capacidad de escurrimiento de los cauces es muy pequeña, y el valle de inundación no está bien definido. Esto provoca inundaciones de poca profundidad, generalmente menos de un metro, y tiempo de permanencia muy largo en relación al área de aporte. No es rara una lámina de agua de algunas decenas de centímetros durante 10, 15 o hasta 20 días.

La situación presentada en la Figura 1 es un ejemplo de la respuesta de estos sistemas a un evento extremo. Esta figura muestra la inundación ocurrida en agosto del 2002 en el partido de Azul, provincia de Buenos Aires, Argentina. El arroyo del Azul, de pocos metros de ancho, llega a tener un frente de inundación del orden de algunos km durante el pasaje de una crecida. En la zona a la derecha del arroyo se produce un fenómeno de llenado y encadenamiento de áreas bajas y el agua ocupa, de manera discontinua, superficies del orden de centenas o miles de km². Este encadenamiento de lagunas genera una red de drenaje anastomosada, donde no es posible identificar una red de drenaje jerarquizada, ni un punto que represente la salida del sistema, como se muestra en detalle en la Figura 2. En épocas normales ésta área se encuentra prácticamente sin agua,

¹ Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (UNL), Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo J. Ususnoff" scioli@fich.unl.edu.ar

² Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo J. Ususnoff" (UNCPBA – CIC – Municipalidad de Azul)



Figura 1. Patrón de anegamiento típico de la llanura en la zona de Azul, Prov de Buenos Aires. Argentina

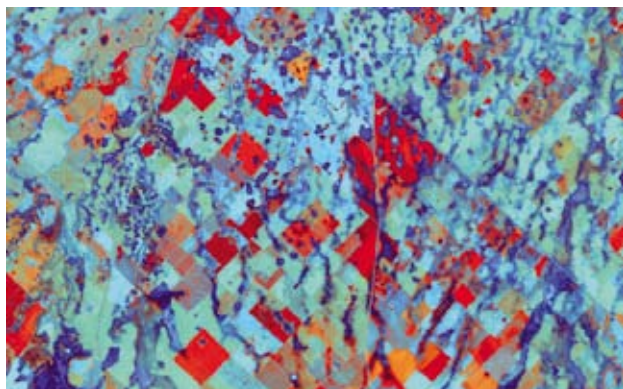


Figura 2. Red de drenaje anastomosada.

ya que solo presenta pequeños almacenamientos superficiales del orden de 1 a 5 ha.

En estos sistemas se genera la necesidad de analizar el comportamiento del escurrimiento superficial y la acumulación del agua sobre el terreno para comprender el funcionamiento hidrológico de estas áreas de llanura. Para ello se simuló el movimiento del agua sobre el terreno con un modelo hidrológico distribuido y los resultados de dicha simulación fueron usados para estudiar la respuesta del sistema mediante un análisis del movimiento multidireccional del agua sobre el terreno.

El estudio realizado permitió comprender el funcionamiento del sistema y plantear metodologías para la cuantificación de la respuesta del mismo. Además se generó información que sirvieron para el planteo y desarrollo de estudios de planificación y gerenciamiento de recursos hídricos y su relación con la actividad productiva de la zona.

LUGAR DE TRABAJO

El trabajo se realizó en la región aledaña a la localidad de Orense, ubicada en el partido de Tres Arroyos. El partido de Tres Arroyos esta situado al sureste de la Provincia de Buenos Aires, como se muestra en la Figura 3. La zona de estudio se puede observar en dicha figura en el sector sureste del partido, donde se localiza un área de llanura.

Este partido es agrícola-ganadero por excelencia, con un importante sector industrial en la zona urbana y peri-urbana. La superficie del partido es de 5.861 Km² y su población está cercana a los 57.000 habitantes en todo el partido, mientras que en la ciudad cabecera tiene una población de 45.000 habitantes

El área de aporte a la localidad de Orense tiene una superficie de 1250 Km², una pendiente media en sentido N-S de 2,5 ‰ al norte de la RP 228, y de 1,5 ‰ al sur de dicha ruta, como se muestra en la Figura 4. Este significativo cambio de pendiente provoca que en esta última franja se presenten frecuentemente problemas de anegamiento y escurrimiento en lámina.

En la imagen de satélite de la Figura 4 es visible el cambio en los patrones de drenaje que se produce en la RP 228. Al sur hay un drenaje difuso y anastomosado, con abundantes puntos de acumulación de agua, del orden de pocas hectáreas. La baja pendiente y el poco relieve de esta zona hacen que el área no tenga la capacidad de evacuar rápidamente volúmenes importantes de agua. El escurrimiento superficial es mayoritariamente mantiforme y no tie-



Figura 3. Argentina - Provincia de Buenos Aires - Partido Tres Arroyos - Zona de Orense.

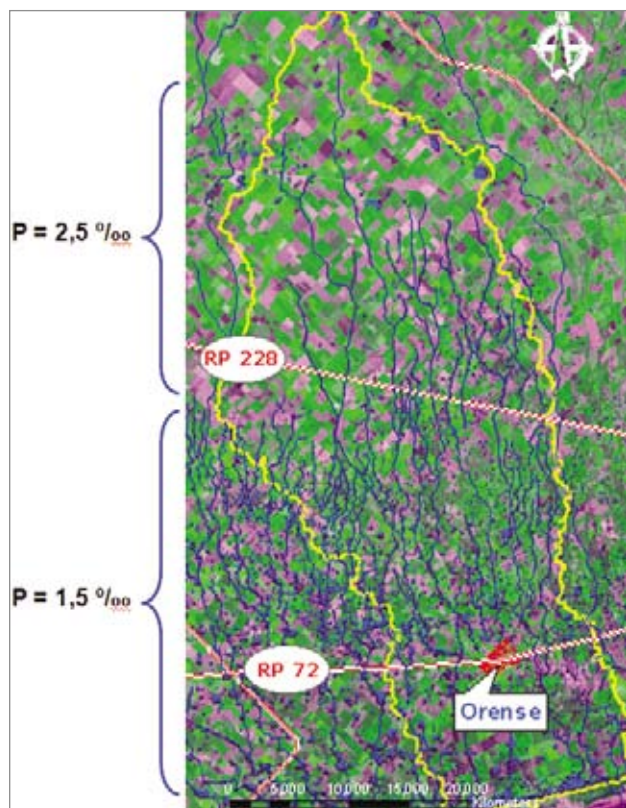


Figura 4. Área de aporte a la localidad de Orense
Zonas de diferentes pendientes medias

ne una dirección definida. Como se observa en la imagen esta zona de estudio presenta las características que describen a un sistema de llanura.

La red de drenaje natural de la zona estudiada ha sido modificada con el paso del tiempo producto de diferentes factores. Estas modificaciones han provocado alteraciones en la forma en que las inundaciones afectan a la región. Uno de los factores que modificó el escurrimiento en la zona fue la profundización de los caminos debido a factores como tipo de suelo, erosión hídrica y/o eólica y acción antrópica. Estos cambios provocaron que los caminos comiencen a concentrar y propagar el escurrimiento en épocas de excesos, modificando la red de drenaje natural. Otra acción que afectó el escurrimiento superficial fue la construcción de una red de canales, por motivos como drenaje de crecidas, vaciado de lagunas, etc. En situaciones de crecidas, la red de canales artificiales tiene por función captar el agua que escurre de manera mantiforme, y conducir a ésta hacia el mar. Como se mencionó en el párrafo anterior, el escurrimiento superficial de la región sufrió modificaciones producto de la acción antrópica. Estos cambios han provocado un direccionamiento del agua en épocas de excesos hacia la zona de Orense. Los efectos de estos cambios quedaron expuestos en la inundación ocurrida en noviembre del 2002. Este evento ocasionó desbordes de canales, anegamientos de campos e inundó parte de la localidad de Orense

Actualmente la zona sigue presentando inconvenientes en el manejo del agua ya que se ha construido nuevos canales para dar una solución inmediata a los problemas de excesos, sin evaluar los efectos que éstos producirían en épocas de déficit hídrico. Los nuevos canales drenan rápidamente las áreas anegadas pero se debe tener en cuenta que éstos pueden continuar funcionando durante un período de sequía y ocasionar una depresión indeseada del nivel freático.

ANÁLISIS MULTIDIRECCIONAL DEL AGUA

Para analizar como el agua escurre sobre el terreno se estudió el movimiento multidireccional del agua utilizando un algoritmo denominado Cuencador (Riccardi, comunicación personal, Scioli, 2009). El algoritmo identifica las celdas que aportan a puntos de convergencia (celdas “destino”). Estas celdas pueden ser puntos de salida del sistema o celdas donde el agua llega y se acumula es decir, no tienen salida de caudal.

Este algoritmo utiliza los resultados del modelo distribuido Simulaciones Hidrológicas I (SSHH I) y puede identificar algunos de los fenómenos característicos de los sistemas de llanura. Con este algoritmo, se evaluó la variación de la superficie y forma de las áreas de aporte (AAP) a las secciones de salida y se analizó la dirección del escurrimiento sobre el terreno.

MODELACIÓN HIDROLÓGICA DISTRIBUIDA

Para la modelación del sistema se utilizó el modelo distribuido de grilla, SSHH-I, con el cual se puede simular el movimiento del agua sobre la superficie del terreno. Este modelo fue desarrollado en la Universidad Nacional de Rosario por Riccardi (2000) y Rentería y Stenta (2003). El modelo representa y vincula el escurrimiento mantiforme con el encauzado,

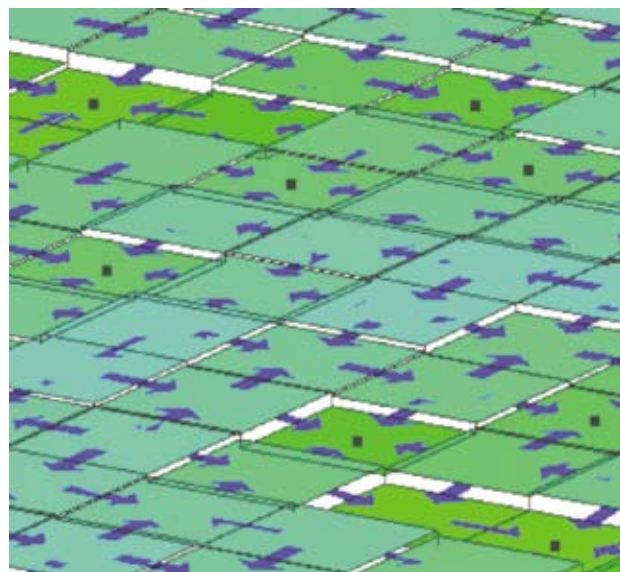


Figura 5. Discretización por grilla - Movimiento del agua sobre la superficie del terreno

característica fundamental para simular el movimiento del agua sobre el terreno en sistemas de llanuras. El SSHH-I discretiza el terreno en forma de grilla (celdas cuadradas) y aplica una ecuación de almacenamiento a cada celda y ecuaciones de escurrimiento a las vinculaciones entre celdas. El modelo representa el relieve de la zona utilizando como base un modelo digital de elevaciones (DEM), en el cual se delimita el área de trabajo o celdas de cálculo. Dependiendo del tamaño de grilla, el modelo puede representar el almacenamiento y movimiento del agua sobre la superficie del terreno, y no solo en los cursos de agua como se muestra en la Figura 5.

Las celdas pueden representar la superficie del terreno o tramos de cauce y se relacionan entre sí mediante relaciones hidráulicas simples, como la ecuación de Manning, vertederos, etc. El primer ejemplo de modelo de celdas para ríos con planicie de inundación es el modelo del Delta del Mekong, desarrollado por la SOGREAH (Société Grenobleise d'Études et d'Applications Hydrauliques) (Cunge et al., 1980). A cada celda se le asigna un valor de cota determinada de un DEM para representar la topografía del terreno. El modelo no necesita de una delimitación previa de cuencas y es posible asignar varios puntos de salida al sistema.

El modelo simula el proceso de escurrimiento con flujo dinámico multidireccional y determina el movimiento del agua a partir de la información topográfica y del tirante de agua en cada celda. La topografía incorporada en el modelo puede ser modificada para imponer al modelo canales o cauces pequeños de agua que no estén representados en el DEM. El escurrimiento entre celdas puede ser calculado mediante diferentes ecuaciones de descarga. Estas ecuaciones incluyen aproximaciones cinemáticas y difusivas de la ecuación de cantidad de movimiento, permitiendo el tránsito por ríos, canales y valles de inundación. Los escurrimientos encauzado y superficial pueden ser simulados a través de singularidades tales como puentes, vertederos, alcantarillas, uniones/bifurcaciones, cambios de sección, estaciones de bombeo, etc. ya que el modelo tiene incorporada las leyes de descarga de cada una de ellas.

El SSHH I se implementó en la zona de estudio utilizando datos de topografía del modelo digital del terreno SRTM, cartas topográficas del IGM, imágenes satelitales, relevamientos topográficos locales de canales y ríos, etc. La estimación de los valores de los parámetros se realizó en función de una calibración cualitativa o marginal (Scioli, 2009), de datos de la bibliografía y de proyectos realizados en la zona similares. (Cazenave et al., 2007; Villanueva et al., 2007)

Las características que presenta el SSHH-I hacen que sea una herramienta adecuada para su utilización en modelaciones hidrológicas en zonas de llanura. Es por esto que se utilizaron los resultados del modelo para realizar el análisis del movimiento multidireccional del agua sobre la superficie del suelo.

CUENCADOR

El Cuencador determina las celdas que aportan a cada celda destino (CD) a partir de los resultados del SSHH-I.

El algoritmo utiliza el valor de caudal de cada vinculación en un determinado intervalo de tiempo para determinar el camino que recorre el agua desde una celda inicial (i) hasta la CD. El grupo de celdas que aporta a una misma CD constituyen el área de aporte a dicha celda.

El Cuencador comienza el cálculo en una celda i evaluando los egresos de caudales de la misma. El algoritmo escoge el máximo caudal e identifica hacia que celda vecina se dirige el agua. Paso seguido el programa se sitúa sobre la celda donde fue descargada el agua y repite el análisis de los caudales salientes. Este cálculo es repetido hasta llegar a una celda que no tenga salida de agua o sea un punto de salida del sistema. Las celdas que se recorrieron hasta llegar a la CD determinan el camino del caudal máximo (Q_{máx}).

El proceso identifica a que CD aporta la celda i. Este análisis se repite en todas las celdas del modelo, con lo cual se determinan las celdas aportantes a cada celda destino.

Una modificación propuesta por Scioli, 2009 consistió en incorporar una nueva alternativa para determinar el camino del escurrimiento. Esta nueva alternativa radica en considerar como dirección de salida del agua de una celda a la dirección del segundo caudal en orden de magnitud (Q_{2^{do}}).

De esta manera el algoritmo analiza los caudales de salida de la celda i y determina la celda a la que aporta ésta considerando la *dirección del Q_{2^{do}}*. En el caso que sólo exista un caudal de salida de la celda, se toma a éste para el cálculo. En la Figura 6 se

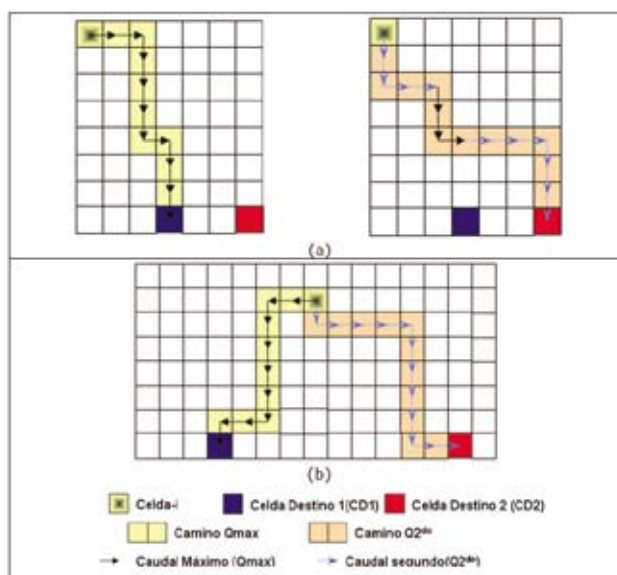


Figura 6. Esquema del resultado de la aplicación del Cuencador (a) y (b) son ejemplos de posibles resultados para la vía de escurrimiento de Q_{máx} y Q_{2do}

presenta un ejemplo de como funciona el algoritmo modificado para $Q_{máx}$ y para $Q2^{do}$. El Cuencador con esta modificación puede calcular el camino del escurrimiento desde una celda i a un CD en función del $Q_{máx}$ o del $Q2^{do}$.

El algoritmo se utilizó con esta modificación para poder analizar mejor el movimiento del agua sobre el terreno, ya que en esta zona con frecuencia no existe una única dirección de escurrimiento.

PLANTEO DE ESCENARIO A ANALIZAR

El Cuencador se utilizó para analizar el comportamiento de las AAP cuando el sistema está en equilibrio. Para esto se utilizaron los resultados obtenidos de simular el sistema para una lluvia constante (0,2 mm/h) de larga duración distribuida uniformemente sobre el área simulada de modo de generar un estado de equilibrio. A partir de los resultados de esta simulación con el Cuencador se determinaron las AAP considerando la dirección del Q_{max} saliente de la celda y $Q2^{do}$.

RESULTADOS

Con el algoritmo se determinaron las AAP para distintos días posteriores a la iniciación de la lluvia. En la Figura 7 se muestra algunas de las imágenes que se utilizaron para el análisis de la evolución en el tiempo de las AAP considerando como dirección del escurrimiento el Q_{max} y $Q2^{do}$ saliente de la celda. En todas las imágenes se identificaron con un mismo color a las celdas que aportan a una misma celda destino. Los colores en las imágenes representan AAP de la zona estudiada.

El análisis de la evolución en el tiempo de las AAP se identificó que las áreas de aportes calculadas considerando el Q_{max} y $Q2^{do}$ cambian de forma y tamaño con el paso del tiempo. Para la situación simulada, estado de equilibrio del sistema, las AAP en determinado día dejan de cambiar sus dimensiones. Las AAP calculadas en función de la dirección del Q_{max} varían hasta el 15^o día de comenzada la lluvia, en cambio las correspondientes al $Q2^{do}$ lo hacen hasta el 19^o día.

En la Figura 7 compararon las AAP determinadas con la dirección del Q_{max} saliente de cada celda con las del $Q2^{do}$. De esta comparación se observó que las AAP en un determinado intervalo de tiempo para ambos caudales son muy diferentes. Esto se produce porque muchas celdas aportan en un mismo período de tiempo a distintas celdas destino. En una cuenca "típica" esto no sucede, las dos áreas serían iguales, ya que el agua siempre saldría por un único punto de salida

La Figura 8 muestra que el sistema entra en estado de equilibrio después del 25^o días de iniciada la lluvia, o sea varios días posteriores a que las áreas dejan de cambiar de forma y tamaño. La Figura 8 (a)

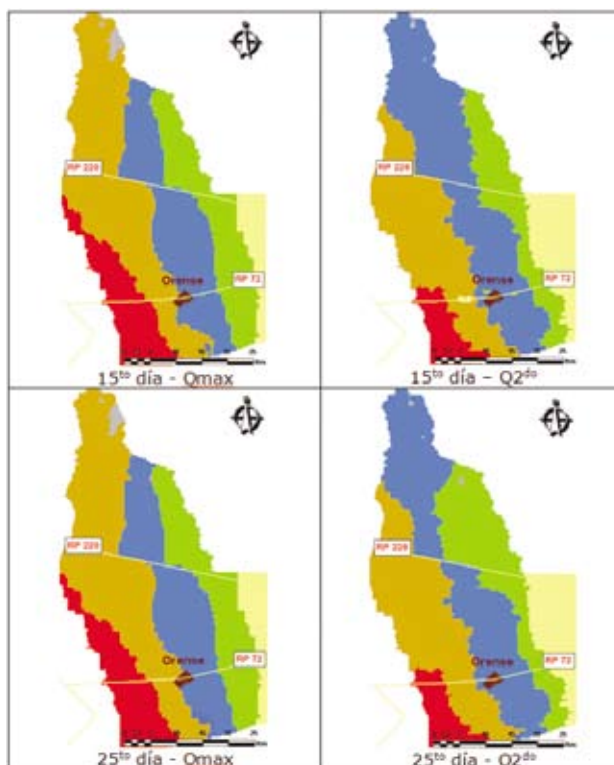


Figura 7. Áreas de aporte determinadas para 15to y 25to día de comenzada la lluvia cte, considerando la dirección del Q_{max} saliente de cada celda y del $Q2^{do}$

muestra el área de aporte a cada sección de salida considerando solo la dirección de $Q_{máx}$. En esta figura se observa que el área 1 es mucho menor que área 4, pero el caudal generado en dichas áreas es muy parecido (Figura 8 (b)), debido a que el área 1 también esta recibiendo agua de otras celdas. Esto muestra que conocer los hidrogramas a la salida del sistema no es una información suficiente para determinar la respuesta del sistema.

Otro análisis que se realizó fue la comparación de caudales correspondientes a las AAP simuladas con el SSHH I con los caudales de las áreas de aporte determinadas topográficamente (AAP_T). En la Figura 9 se observan las AAP simuladas para Q_{max} y $Q2^{do}$ para el estado de equilibrio y a la derecha las AAP_T 2 y 3. Se puede observar la diferencia de tamaños y forma que existe entre ellas.

En la parte inferior de la figura se comparan los caudales erogados por las secciones de salida de por cada una de estas áreas. Los caudales de las AAP simuladas corresponden a la suma de los caudales de las áreas determinadas a partir Q_{max} y $Q2^{do}$. Mientras que los caudales correspondientes a las AAP_T fueron calculados considerando que el toda el agua caída en estas áreas es erogada por su sección de salida.

Es notable ver la diferencia de caudales, mostrando que no sería posible relacionar caudales con tamaño de áreas, al existir trasvasamientos no puede corresponderse el caudal generado a las áreas de aporte.

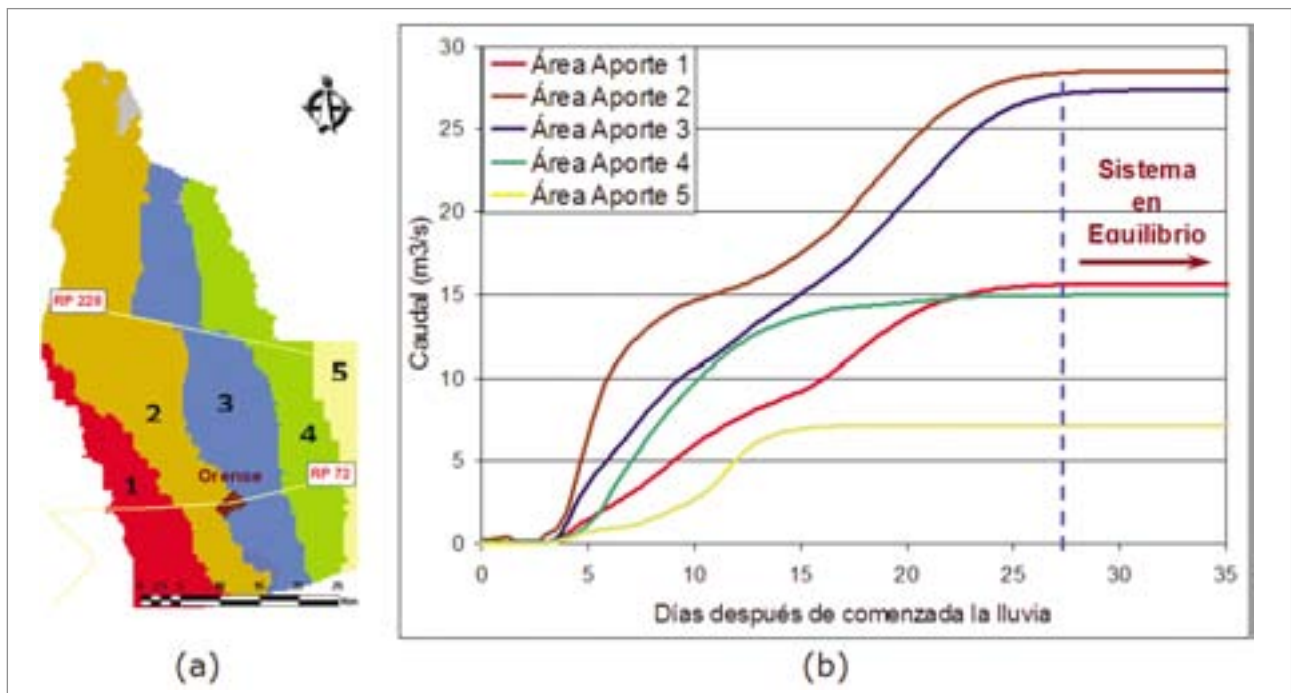


Figura 8 (b). Hidrogramas de las secciones de salida correspondientes a las áreas de aporte señaladas en (a).

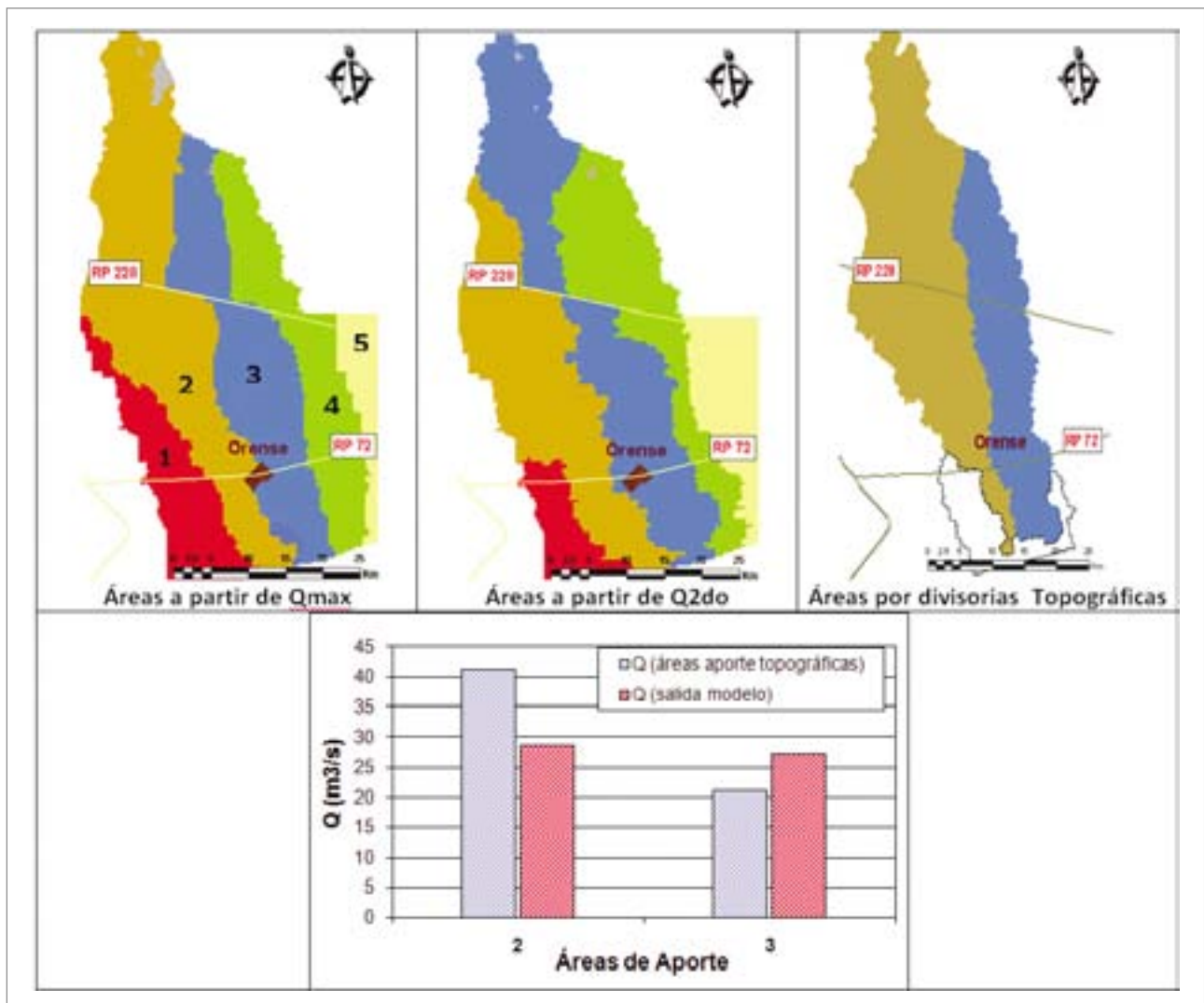


Figura 9. Caudales correspondientes a las áreas de aporte simuladas con el SSHH I y al agua generada en las áreas determinadas topográficamente.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados de la aplicación del Cuencador mostraron que las AAP en la zona estudiada no tienen límites fijos, varían de forma y tamaño. La variación de las AAP se debe al intercambio de agua entre ellas. Los trasvasamientos entre las AAP del sistema estudiado se generan porque los niveles de agua son del orden de las alturas de las “divisorias de aguas”.

El análisis de la evolución temporal de las AAP mostró que éstas cambian de forma y tamaño. Estos cambios se producen porque las celdas que aportan a una determinada celda destino, varían su tirante de agua y cambian la dirección de su aporte hacia otra en el siguiente período de tiempo.

La diferencia entre las AAP determinadas con el Q_{max} y $Q_{2^{do}}$ en un intervalo de tiempo que se observan en las Figuras 7 se producen porque el agua en un área puede estar escurriendo, simultáneamente, en dos direcciones diferentes, o sea una celda puede estar aportando al mismo tiempo a diferentes celdas destino, es decir trasvasando hacia otra área de aporte. Esto muestra que el agua generada en una celda no tiene un único camino de escurrimiento.

Los fenómenos mencionados indican que en este sistema el movimiento del agua sobre el terreno es principalmente gobernado por la pendiente hidráulica y no la topográfica. Esto último sumado a que el terreno es muy plano genera que variaciones de pequeña magnitud en la altura del agua sobre las celdas causen el cambio de dirección del escurrimiento superficial. Estos cambios de dirección terminan provocando que sea dinámica la superficie de las áreas de aporte.

Las características del funcionamiento del sistema causan que no exista una única relación entre el agua caída en el área de aporte y los caudales medidos en un punto de salida, mostrando que el concepto de cuenca no es aplicable en estas áreas. Por ello, las determinaciones de caudales en las secciones de salida no brindan la información suficiente para realizar una calibración del sistema.

El análisis realizado mostró que el escurrimiento sobre la superficie del terreno es el proceso que incide en las variaciones de la forma y tamaño de las áreas de aporte, influyendo en la respuesta del sistema estudiado. Debido a esto, para modelar estos sistemas es necesario representar de manera adecuada y con una buena escala de detalle el movimiento del agua sobre el terreno.

Por último, los resultados de la evaluación del movimiento multidireccional del agua sobre la superficie del terreno permitieron confirmar que el área de estudio tiene las características de un sistema de llanuras.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las AAP del sistema estudiado no tienen límites fijos, y varían en tamaño y forma. El fenómeno que produ-

ce la variación de estas áreas es el trasvasamiento de agua entre ellas, ya que la altura de las “divisorias de aguas” es del mismo orden que el tirante del escurrimiento superficial.

El concepto de cuenca en estos sistemas no es aplicable, ya que las “divisorias de aguas” no están bien definidas, y además frecuentemente no es posible definir un punto que sea representativo del comportamiento del sistema. La presencia de trasvasamientos y el movimiento multidireccional del agua hacen que en el sistema no exista una única relación entre el agua caída sobre cada área de aporte y los caudales medidos en las secciones de salida.

En la modelación de una zona que presente características de un sistema de llanura puede ser necesario incluir áreas contiguas a ésta, para evaluar los posibles trasvasamientos de agua. Como límites de la zona simulada se podrían utilizar cuerpos de agua que no produzcan desbordes que afecten a la zona estudiada, divisorias de agua topográficas bien definidas, etc.

El cambio de forma y tamaño de las AAP muestran la necesidad de simular el escurrimiento sobre la superficie del terreno con una buena escala de detalle para obtener una adecuada representación de la respuesta del sistema.

El análisis del movimiento multidireccional del agua presentado en este trabajo debería ser profundizado con el objetivo de obtener más información del comportamiento del sistema. Por ejemplo, se deberían analizar y cuantificar los efectos en el sistema que generan los trasvasamientos de agua, analizando la relación entre las condiciones de equilibrio del sistema y las AAP del Q_{max} y $Q_{2^{do}}$; También sería interesante estudiar el caso para lluvia variable, ya que este es un caso difícil de interpretar físicamente. En el caso de lluvia variable, lo que se obtiene es una “fotografía” de las direcciones de escurrimiento en un determinado instante, pero es difícil imaginar cuál va a ser el comportamiento del agua a medida que el escurrimiento se va modificando. Sería interesante plantear este caso con un análisis de tipo “lagrangiano”, siguiendo a lo largo del tiempo el movimiento del agua originada en una celda.

El comportamiento de estos sistemas hace que las técnicas utilizadas para monitorear la respuesta de cuencas no sean aplicables. Debido a esto es necesario plantear métodos alternativos para cuantificar la respuesta de estos sistemas. En función de las características de estos sistemas probablemente sea más adecuado plantear una evaluación regional de la respuesta del sistema que identificar algún punto representativo.

La realización de este trabajo mostró la necesidad de plantear dos tipos de monitoreos en estos sistemas, uno a nivel regional y discreto en el tiempo y otro puntual y continuo. El primer caso comprendería la realización de identificación y cuantificación de las zonas anegadas después de un evento, determina-

ción de los tiempos de traslado del agua sobre el terreno y las rugosidades de los canales, etc. En cambio, el monitoreo puntual estaría relacionado con la medición de caudales en puntos como alcantarillas en las rutas, para estimar la cantidad de agua que escurre en el sistema.

Por último se debe mencionar que la modelación matemática realizada sirvió para obtener una estimación de cuanto podría ser mitigada una inundación, y cuál sería el costo de implantación de las medidas necesarias (Villanueva et al., 2007). También con simulaciones del modelo se analizó el impacto de una inundación sobre la productividad y la producción agrícola, analizando la probabilidad de que un cultivo sea afectado por una inundación de ese tipo, comparando las épocas de ocurrencia de lluvias (con tiempos de retorno alto) con las épocas de cultivo (Cazenave, 2008).

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección de Vialidad e Hidráulica Rural del partido de Tres Arroyos, Prov. de Bs. As, Argentina.

Este trabajo ha sido desarrollado con financiamiento de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) – Argentina a través del PID 35765. y la Comisión de Investigadores Científicos (CIC) provincia de Buenos Aires

BIBLIOGRAFÍA

Cazenave G. y Villanueva A.; 2007; “Modelación Superficial en una Cuenca de Llanura con El HEC-

HMS. Caso de Estudio: Cuenca del Azul Superior”. XXI CNA Tucumán. Argentina

Cazenave, G., 2008. “Tormentas máximas y periodos de cultivo en el partido de Tres Arroyos, Pcia. de Buenos Aires”. Informe interno del proyecto PID 35765 - Desarrollo de criterios y pautas para gerenciamiento de recursos hídricos en áreas de llanura.

Cunge, J. A.; Holly, F. M.; Verwey, A. (1980) “Practical Aspects of Computational River Hydraulics” Pitman Advanced Publishing Program.

Fertonani, M. y Prendes, H.; 1983. “Hidrología en áreas de llanura. Aspectos conceptuales teóricos y metodológicos”. Actas del Coloquio de Olavarría de Hidrología de las grandes llanuras. Vol. I, pp. 118-156. Buenos Aires, Argentina

Rentería J. y Stenta, H. (2003) “Desarrollo de soporte computacional interactivo para sistema de simulación hidrológica superficial”. Tesis de Grado Ingeniería Civil. FCEIA – UNR. Rosario, Argentina. Inédito.

Riccardi G. (2000). “Cell model for hydraulic modeling”. Journal of Environmental Hydrology. Vol. 8, paper 15, 1-13.

Scioli, C. 2009. Modelación del escurrimiento superficial en áreas de llanura: Implementación y calibración de un modelo distribuido de grilla. Tesis Maestría – Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina. 160 pp.

Villanueva, A.; Scioli, C.; Vives, L. y Gil, F. (2007) “Hidrología Superficial en el Partido de Tres Arroyos, Provincia De Buenos Aires (Parte II)”; Informe Técnico 15 Conclusiones