

ESTIMACIÓN DEL CAMPO DE VELOCIDADES EN PLANICIE DE INUNDACIÓN. RÍO SALADO 2003

L. Filippa¹, M. Gallo², A. Trento¹, y S. Vinzón²

¹Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas - Universidad Nacional del Litoral, Argentina.

²Programa de Ingeniería Naval y Oceánica, COPPE - Universidad Federal de Río de Janeiro, Brasil.

E-mail: leofi2004@yahoo.com.ar

Introducción

La crecida extraordinaria del tramo inferior del Río Salado (provincia de Santa Fe), ocurrida durante 2003 fue la más importante de la historia, registrándose caudales pico de 4000 m³/s. (Ferreira, 2005). Esta crecida no sólo afectó las zonas rurales cercanas, produciendo graves perjuicios civiles y económicos (CEPAL, 2003), sino que también provocó la inundación de parte del casco urbano de la ciudad de Santa Fe.

En este trabajo se presentan resultados de distribución de velocidades, en diferentes secciones, sobre un área de estudio que comienza aproximadamente en la confluencia del Río Salado con el Arroyo Cululú y se extiende 30km aguas abajo.

Para la obtención de los resultados fue fundamental lograr una correcta evaluación de la rugosidad superficial en la planicie. Para ello se utilizaron las distribuciones de rugosidad determinadas por Bodoira et al. (2008).

La distribución de velocidades y los niveles asociados se obtuvieron mediante simulación numérica, a través de la implementación del módulo hidrodinámico bidimensional del sistema computacional SisBaHiA[®] v7. (Rosman, 2008).

Objetivo

Calcular y analizar la distribución de velocidades en el sistema cauce-planicie del área de estudio, a través de la simulación numérica del escurrimiento para el pico de la crecida.

Materiales y métodos

El sistema computacional SisBaHiA[®] v7, utilizado para la simulación del escurrimiento, cuenta con 6 módulos para aplicaciones diversas. El módulo Hidrodinámico, empleado en este trabajo, denominado FIST3D, es aplicable a escurrimientos homogéneos de gran escala, y puede utilizarse para simulaciones del flujo en aguas fluviales y costeras con geometrías complejas. FIST3D puede ejecutarse de dos modos, uno donde se simula el escurrimiento en tres dimensiones y otro para simular el escurrimiento bidimensional en la horizontal, 2DH (promediado en la vertical). Para el presente estudio se empleó la versión bidimensional del modelo. Los restantes módulos de SisBaHiA[®] v7 pueden utilizarse para la simulación del transporte de escalares siguiendo un enfoque Euleriano o Lagrangeano.

La primera etapa en la implementación del modelo consistió en la discretización del dominio de simulación. Éste comprende un área total aproximada de 50 km² y presenta algunas particularidades morfológicas tales como la presencia continua de meandros a lo largo de toda la planicie del río. Esta característica sumada a la diferencia relativa entre el ancho del río (80m promedio) y el ancho de la planicie (de 1500m a 5000m aproximadamente), define la presencia de 2 escalas geométricas muy distintas en el dominio de modelación. Por este motivo el mismo se discretizó mediante una malla de elementos finitos, donde el ancho de los elementos sobre el río debió ser

considerablemente menor en relación al ancho de los elementos sobre la planicie. De este modo el ancho promedio de elemento sobre el río fue de 40m y, para planicie, el ancho promedio fue de 250m. La malla quedó constituida por un total de 1422 elementos finitos cuadrangulares isoparamétricos, con 9 nodos por elemento sumando un total de 5981 nodos en todo el dominio (Figura 1).

La segunda etapa consistió en la caracterización física del dominio, a través de la batimetría y de la rugosidad superficial de cauce y planicie. La batimetría implementada fue obtenida de relevamientos de 22 secciones transversales, efectuados durante trabajos de campo, que se complementaron con información de curvas de nivel para la planicie. (Trento y Alvarez, 2006). La rugosidad fue obtenida de cartas temáticas específicas (Bodoira et al., 2008), determinadas en base a una técnica empírica en combinación con imágenes Landsat, que permitió obtenerla para las estaciones de invierno y verano. La rugosidad, en términos del coeficiente n de Manning, osciló en el intervalo 0,024 - 0,1, implementándola en el modelo a partir de la ecuación de Keulegan (Sturm, 2001) según el coeficiente de Chezy, C_h :

$$C_h = 18 \log_{10} \left(\frac{12H}{2\varepsilon} \right) \quad [1]$$

Con $C_h = H^{1/6}/n$, siendo H el tirante, y 2ε la altura de rugosidad equivalente.

Luego se especificaron las condiciones de contorno aguas arriba y aguas abajo del área de estudio, que consistieron en un hidrograma de caudales de 11 días de duración, con valores diarios luego interpolados linealmente cada 6 horas. El hidrograma utilizado corresponde a la sección sobre el puente de la Ruta Provincial N°70 (Ferreira, 2005), por lo cual fue desfasado 2 días para imponerlo como condición de contorno aguas arriba. Para las condiciones de contorno aguas abajo se impuso una serie temporal de cotas IGM de pelo de agua, con un intervalo de tiempo de 6 horas.

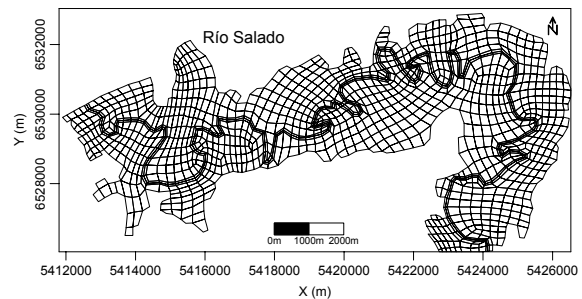


Figura 1.- Malla de elementos cuadrangulares sobre el dominio del modelo (coordenadas Gauss Kruger).

Esa información fue obtenida de resultados del sistema computacional Hec-RAS 4.0 (Bruner, 2008), implementado y calibrado para el mismo evento en un dominio espacial más amplio, tanto aguas arriba como aguas abajo. Las condiciones iniciales de niveles fueron fijadas en 21m, cota IGM. Definición que cumplimenta el requisito de tener un tirante de agua mínimo en todo el dominio.

Finalmente, el modelo se ejecutó para el intervalo del 23 de Abril al 4 de Mayo de 2003, en el cual ocurrió el pico de la crecida. El paso temporal de cálculo, Δt , fue de 5 segundos.

Para la calibración del modelo se compararon las cotas de pelo de agua calculadas en la sección sobre el puente de la Ruta Provincial 6, con el nivel estimado en esa sección para el pico de la creciente, de aproximadamente 23,5m según los lugareños.

El tiempo total de ejecución fue de 36 horas utilizando una notebook con microprocesador Intel® Pentium® Dual – Core 1.86GHz y 2GB de memoria RAM.

Evaluación de Resultados

En la Figura 2 se muestran los campos de velocidades para el tiempo correspondiente al caudal pico. Se definen dos secciones transversales de análisis: SA y SB ubicadas a 5km y 27km aguas abajo de la sección de cabecera del dominio.

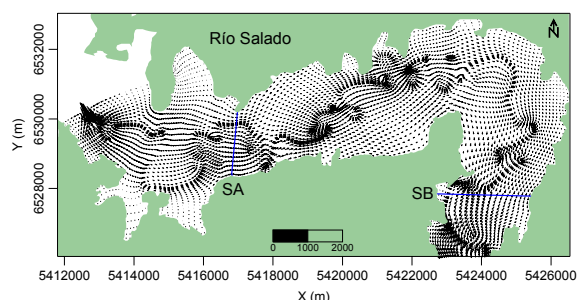


Figura 2.- Campo de velocidades para el pico de la crecida.

Se observa que el escurrimiento no sigue exactamente la dirección del cauce, principalmente en las zonas de meandros donde el río no escurre respetando sus curvas naturales sino que continúa con su dirección proveniente de aguas arriba. En las Figuras 3 y 4 se muestran perfiles transversales de velocidades con los correspondientes tirantes en las dos secciones. Se advierte que, en general, las mayores velocidades tienden a producirse cerca del cauce principal donde se registran las mayores profundidades y las rugosidades son menores (n mínimo = 0,024). Y las velocidades mínimas tienden a producirse en los bordes de la planicie donde las rugosidades son más elevadas (n máximo = 0,1).

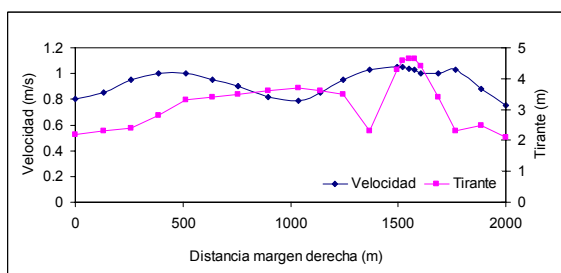


Figura 3.- Perfil de velocidades en SA, para el pico de la crecida.

Para cada sección, al comparar entre planicie izquierda y derecha, se detectó una tendencia a mayores velocidades sobre la planicie más ancha, lo cual se debe a mayores coeficientes de rugosidad sobre las planicies más angostas. En el resto del dominio se detectó que las velocidades máximas fueron aproximadamente de 1m/s, alrededor del cauce principal, con algunos valores por encima de 2m/s. Sobre la planicie los valores fueron de 0,40m/s a 0.8m/s, y en los bordes de la planicie estuvieron por debajo de 0,40m/s.

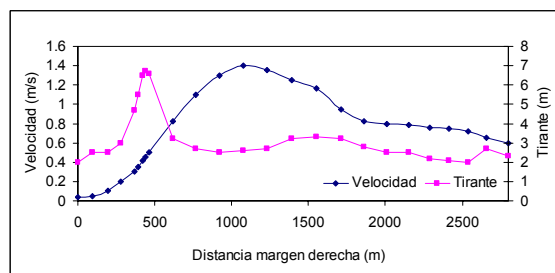


Figura 4.- Perfil de velocidades en SB, para el pico de la crecida.

Por último se debe mencionar que la cota de pelo de agua sobre el puente de la Ruta Provincial 6 registrada por el modelo para el día 29 de Abril (día del pico de la crecida), fue de 23,2m.

Conclusiones

Los resultados obtenidos, aunque preliminares, permiten realizar una estimación del campo de velocidades en el cauce y la planicie de inundación en el área de estudio.

El análisis de los perfiles transversales muestra una relación directa entre campo de velocidades y rugosidad superficial. Dado que en general las velocidades disminuyen desde el cauce, que posee las rugosidades más bajas, hacia los bordes de la planicie, que tiene las rugosidades más elevadas. Las disminuciones promedio en las velocidades son aproximadamente: del 45% entre cauce y planicie y del 60% entre planicie y borde de planicie.

El campo de velocidades permite apreciar que, durante grandes crecidas, el escurrimiento no sigue de manera exacta el curso natural del río sino que se desvía por el efecto de los elevados caudales y las velocidades asociadas.

Referencias Bibliográficas

Bodoira, F., Graciani, S., Trento, A. (2008): "Elaboración de cartas temáticas de la rugosidad superficial en planicies de inundación. Cuenca inferior del Río Salado (Santa fe)". Cuarto Congreso de la Ciencia Cartográfica y XI Semana Nacional de Cartografía. Buenos Aires, Argentina.

Bruner, G. (2008): "HEC RAS, River Analysis System User's Manual, Versión 4.0", U.S. Army Corps of Engineers. (<http://www.hec.usace.army.mil>)

CEPAL (2003): "Las inundaciones de 2003 en Santa Fe, Argentina. Evaluación del Impacto Socioeconómico y Ambiental". <http://www.eclac.cl/argentina/noticias/noticias/0/12620/presentacion.pdf>.

Ferrerira, C. G. (2005): "La crecida extraordinaria del Río Salado en Abril - Mayo de 2003. (Provincia de Santa Fe - Argentina) – Aspectos hidrológicos". XX Congreso Nacional del Agua. Mendoza- Argentina.

Rosman, P. (2008): "Referência Técnica do SisBaHiA®". (<http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br>)

Trento, A., Alvarez, A. M. (2006): "Un modelo numérico para el transporte de sedimentos finos y cromo en el río Salado", ENIEF 2006, XV Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones, Santa Fe. Vol. XXV, 1413-1423, (Cardona, Nigro, Sonzogni y Storti Eds.), ISSN 1666-6070.

Sturm, T.W. (2001): *Open Channel Hydraulics*, McGraw-Hill, New York, USA.