

SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DE LA PLANICIE DEL RÍO SALADO (SANTA FE)

Matias Imhoff, Alfredo Trento

Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH)

E-mail: mati_imhoff@hotmail.com

Introducción

Durante los meses de abril y mayo de 2003 ocurrieron intensas precipitaciones pluviales en la cuenca de aporte santafesina del río Salado, que causaron la inundación de extensas áreas de las planicies. Estas áreas, dedicadas principalmente a la ganadería, ya sea tanto para la producción de carne como de leche, ocupan un lugar de jerarquía en la economía Provincial. Se destaca que el área en estudio (Ver Figura 1) se inscribe en una región con un acentuado desarrollo agro-industrial, y que produce alimentos para el mercado nacional e internacional. Según las estimaciones de la CEPAL (2003) acerca del impacto ambiental de las inundaciones del río Salado en la provincia de Santa Fe para la crecida de 2003, la cantidad de hectáreas afectadas en dos de los departamentos más perjudicados, La Capital y Las Colonias, fueron de 93900 y 187640 respectivamente, para la producción ganadera de carne, mientras que para la producción de leche fueron de 18900 y 109360, respectivamente. Estas cifras representan un 6.2 % y un 36.4 % del total de la superficie afectada a la producción de carne y leche en toda la provincia. Es en este contexto que se destaca la importancia hidroambiental de las planicies, las cuales fueron el espacio dominante de conducción del escurrimiento en 2003, por lo cual la determinación de la hidrodinámica mediante una correcta estimación de la rugosidad superficial resulta fundamental para la obtención de resultados confiables y compatibles con los valores observados.

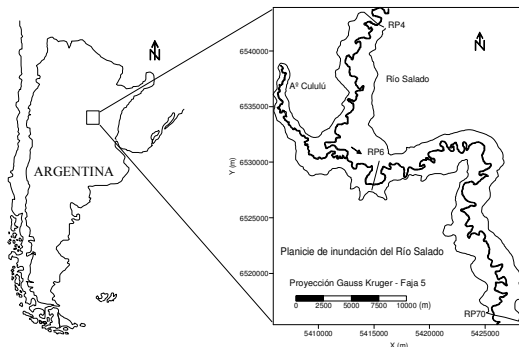


Figura 1.- Ubicación del área de estudio

Objetivo

El objetivo del trabajo fue calcular la hidrodinámica en la planicie para la crecida extraordinaria de 2003 con el sistema computacional Hec-Ras para la situación no estacionaria, en base a condiciones de borde medidas, y la implementación de la rugosidad superficial mediante la aplicación de la fórmula de Cowan. A partir de dicha simulación se pretendió determinar la importancia de la representación variable del coeficiente de rugosidad en la planicie aluvial.

Metodología

Se simularon las condiciones hidrodinámicas no estacionarias para el intervalo 3 de marzo al 10 de junio de 2003, con el sistema computacional Hec-Ras 4.1 (Brunner, 2010). El sistema aproxima las dos ecuaciones

diferenciales de Saint-Venant, la de conservación de masa y la de cantidad de movimiento mediante un esquema en diferencias finitas. En su implementación se utilizaron las geometrías de 23 secciones transversales del Río Salado determinadas por relevamientos de campo y análisis de cartas IGM (Bodoira et al., 2009). El tramo simulado comprende el río Salado desde su confluencia con el Arroyo Cululú hasta una sección ubicada en el puente de la ruta Provincial N° 70 (RP70), definida como progresiva 0 km. En la sección de aguas arriba, se impuso un hidrograma calculado como condición de borde y en la de aguas abajo una curva de descarga, obtenida en base a información suministrada por la SSRH (2009). Las condiciones iniciales se calcularon según información disponible de cotas de nivel de agua para marzo de 2003. Se utilizó un intervalo de cálculo de $\Delta t=20$ segundos y un intervalo de salida de resultados de 2 hs.

Para calcular la rugosidad en el valle de inundación del río se utilizó la metodología propuesta por Cowan en Arcement & Schneider (1989), la cual es análoga a la fórmula utilizada para estimar la rugosidad en el cauce:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m \quad [1]$$

Donde n_b es un valor básico del parámetro n , en función del material que compone la planicie de inundación; n_1 es un factor de corrección para tener en cuenta las irregularidades en la superficie. El factor n_2 considera las variaciones en la forma y el tamaño de las secciones transversales; el coeficiente n_3 permite cuantificar las obstrucciones presentes en la planicie de inundación. El valor de n_4 considera la vegetación existente y por último, el coeficiente m es un factor de corrección que tiene en cuenta la sinuosidad de la planicie.

A partir de muestras de suelo de la planicie obtenidas en trabajos de campo en Julio de 2009, se determinó por medio de difracción láser la distribución granulométrica, con la mediana $d_{50}=104 \mu\text{m}$, y se estimó un valor de n_b de 0.012 de la Tabla 1 presentada en Arcement & Schneider (1989). Para la cuantificación de n_1 , se consideró un grado de irregularidad moderado de la planicie de inundación del Río Salado, adoptándose 0.008. Para considerar las obstrucciones en la planicie, se debió estimar un valor de n_3 . En este estudio, se consideró en la sección del puente RP6 un valor de 0.045, lo cual representa un porcentaje de obstrucción entre un 15 y un 50%. Para el resto del área se determinó un valor de 0.03, correspondiente a una sección obstruida en menos del 15% de su área total. El valor de n_4 se obtuvo en función de la relación profundidad de flujo en la planicie-altura de la vegetación existente, por lo tanto se trabajó con profundidades de flujo (h) y con alturas de vegetación (l) determinadas a partir de mediciones de campo e imágenes satelitales Landsat 7ETM provistas por CONAE. Las profundidades del río fueron calculadas con el módulo hidrodinámico bidimensional 2HD del sistema computacional SisBAHIA® (Filippa et al., 2009) para las secciones comprendidas entre la confluencia con el Arroyo Cululú y una sección 12 km aguas arriba del puente RP70. Para las restantes secciones del tramo inferior del área simulada, las profundidades fueron calculadas por diferencia entre las cotas del terreno y las cotas de pelo de agua. Para determinar las cotas del terreno se utilizaron las curvas de nivel de la zona de estudio y las batimetrías de las

secciones del modelo. Las cotas de pelo de agua se interpolaron linealmente entre la cota del nivel del río en la última sección simulada con el sistema SisBAHIA®, y la condición de borde colocada en la sección del puente de RP70. En cuanto a la vegetación, se establecieron 6 diferentes clases presentes en el valle de inundación, y a cada grupo de nueve píxeles, se le asignó una altura li de la vegetación predominante, representativa de cada clase i , según mediciones realizadas en seis trabajos de campo, en 17 parcelas de muestreo distribuidas en la planicie de inundación. Para obtener el valor del coeficiente se desarrolló un algoritmo computacional mediante el cual se asignaron diferentes valores de n_4 a la relación h/l para toda el área de estudio, según la Tabla 3 de Arcement & Schneider (1989). Los coeficientes n_4 calculados estuvieron en cuatro rangos, los menores entre 0.001-0.01, para zonas con vegetación representada por césped flexible o malezas, con h de dos a tres veces la altura de la vegetación. El rango de los mayores n_4 estuvo entre 0.05-0.1, para aquellas zonas donde h fue menos de la mitad de la altura de la vegetación. Para situaciones intermedias, se adoptaron los rangos presentados en la Tabla 3 citada.

Resultados y Discusión

De acuerdo a la implementación de la fórmula de Cowan, se obtuvo el siguiente mapa de coeficientes de rugosidad n de Manning para el área de trabajo (ver Figura 2):

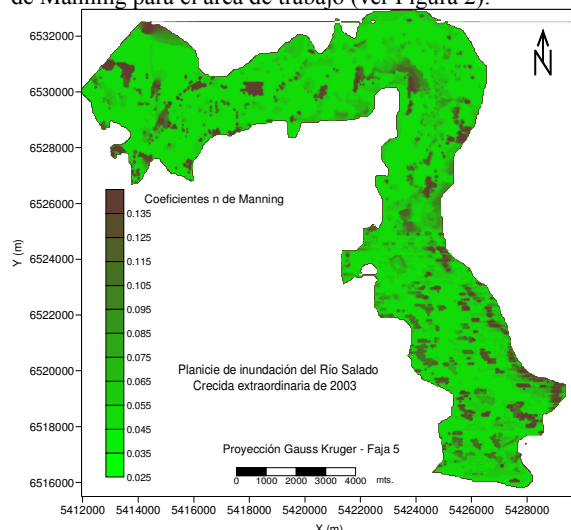


Figura 2.- Coeficientes n de Manning resultantes de la implementación de la fórmula de Cowan para planicies de inundación.

La calibración se realizó en base a cotas de pelo de agua medidas en la sección del puente de RP6, y en cinco diferentes secciones a lo largo del tramo de estudio. En la sección RP6 la cota medida fue de 23.50 m IGM, siendo la calculada por el modelo 23.54 m. En las secciones restantes se obtuvieron diferencias menores a los 12 cm. En base a los resultados obtenidos se calcularon los anchos de inundación (Bc) en cada sección. Esos anchos se compararon con los medidos (Bm) sobre una imagen satelital radar del 07 de Mayo de 2003 aplicando el "Método de Interpretación Visual" (Di Baldassarre et al., 2009). Para tal procedimiento se asignó un error de un píxel, e_p , para cada lado de la planicie y se determinó un error de georeferenciación, $e_g = \pm 75$ metros, con lo cual, teniendo en cuenta que los píxeles cuentan con 30 metros de lado, se obtiene un error total máximo $e_T = \pm 135$ metros. Los resultados de ese contraste mostraron diferencias porcentuales entre los anchos calculados y los medidos menores al 5%. Se determinó la distribución de caudales

para el pico de la crecida, los porcentajes del caudal transportado por el cauce ($\%Qc$) y por cada lado de planicie, la izquierda ($\%Qmi$) y la derecha ($\%Qmd$).

Para el mismo evento se calcularon los anchos de inundación utilizando una configuración de rugosidad superficial constante para toda la planicie, adoptando para ello, $n=0.025$ y $n=0.06$. Para estas dos simulaciones las diferencias porcentuales de los anchos calculados respecto a los medidos aumentaron significativamente. En la Figura 3 se presentan los anchos calculados en las progresivas para las tres configuraciones de rugosidad implementadas.

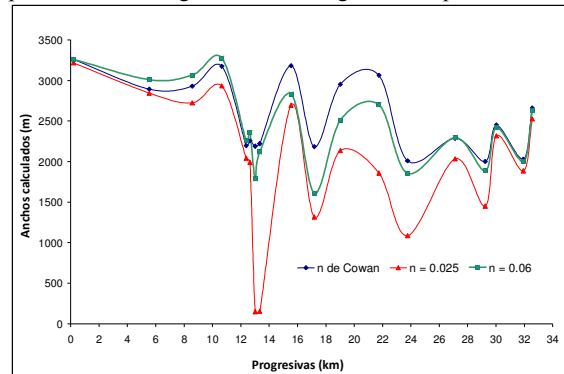


Figura 3.- Comparación de anchos calculados con n variable según Cowan y con n uniformes en toda la planicie, 0.06 y 0.025.

En cuanto a las cotas de pelo de agua, en la sección RP6 fue donde se registró la diferencia más significativa, pasando de 23.54m para n variable a 22.98m para la simulación con $n=0.025$. De manera inversa, cuando se simuló con $n=0.06$, el nivel de pelo de agua en dicha sección fue 23.75 m. En las restantes secciones utilizadas para la calibración del modelo los niveles variaron en ± 45 centímetros.

Conclusiones

A partir de los resultados de la simulación se verificó el papel relevante que jugó la planicie de inundación durante la crecida de abril-mayo de 2003, no solo en el almacenamiento del caudal, sino más aún, en la conducción del mismo, llegando a transportar entre un 70% al 85% del caudal total, en la mayor parte del área de estudio.

La implementación de la fórmula de Cowan para determinar los coeficientes n Manning en el valle de inundación del río, permitió una parametrización adecuada de los efectos resistivos de la planicie, lo que permitió lograr resultados próximos a los medidos, en cuanto a perfiles de velocidades, niveles del río, anchos de inundación y tensiones de corte en planicie.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado en el marco de los proyectos PICT RAICES 35885 subsidiado por la ANPCyT, y CAI+D 2009 subsidiado por UNL.

Referencias

- Arcement, G.J., Schneider, V.R. 1989. "Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains", *US Geological Survey, Water-Supply Paper 2339*.
- Di Baldassarre, G., Schumann, G., Bates P. D. "A technique for the calibration of hydraulic models using uncertain satellite observations of flood extent", *Journal of Hydrology*, Vol. 367 (2009), pp. 276-282.