

EVALUACIÓN DE UN MODELO HIDRODINÁMICO BIDIMENSIONAL EN UN TRAMO DEL CAUCE PRINCIPAL DEL RÍO PARANÁ

Florencia Peruzzo⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁴⁾, Gerardo Riccardi⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾, Pedro A. Basile⁽¹⁾⁽²⁾, Marina García⁽¹⁾⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Hidráulica, Escuela de Ingeniería Civil, FCEIA, UNR

⁽²⁾ Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales, FCEIA, UNR

⁽³⁾ Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Rosario

⁽⁴⁾ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas

Riobamba 245 bis. 2000 Rosario, Argentina. Teléfono: (0341) 153286027

E_mail: fperuzzo@fceia.unr.edu.ar

Introducción

Los grandes ríos aluviales de llanura representan un recurso natural de inestimable valor ambiental para un territorio, por ello la sustentabilidad de tales ambientes fluviales resulta de vital importancia. El río Paraná, río aluvial que recorre la zona litoral de nuestro país, forma parte de la Cuenca del Plata, junto con los ríos Paraguay y Uruguay, sus afluentes y varios humedales como los Esteros del Iberá y el Bañado la Estrella. Las aguas superficiales de dicha cuenca son recolectadas principalmente por el denominado Corredor Fluvial Paraná - Paraguay, que se destaca por la presencia de grandes extensiones de humedales. La magnitud de los volúmenes de escurrimiento y la longitud de su recorrido hacen que el mismo se encuentre entre los ríos de llanura más importantes del mundo. El río Paraná tiene usos múltiples entre los que se destacan el aprovechamiento hidroeléctrico, el abastecimiento de agua, el uso como vía de comunicación para navegación comercial y recreacional, entre otros. En este contexto la modelación hidrodinámica se ha convertido en una herramienta esencial para la planificación y gestión de los recursos hídricos como también para cuantificar el impacto de las actividades humanas para la protección de los mismos y del medio ambiente. El tramo del río Paraná que se estudia en el presente trabajo abarca desde el km 452 hasta el km 410 de la ruta de navegación troncal Santa Fe – Océano. Existen antecedentes de simulaciones con modelos matemáticos aplicados satisfactoriamente en el tramo, tales como, modelos bidimensionales completos (FICH, 2006; Guerrero y Lamberti, 2013; Basile et al., 2015) y modelos cuasi-bidimensionales de baja complejidad (Peruzzo et al., 2016). También, en lo que respecta a modelación cuasi-2D se ha realizado una aplicación desde la ciudad de Diamante hasta la ciudad de Ramallo, sector que incluye el tramo en estudio, se realizó una modelación unidimensional del cauce principal y cuasi-2d de la planicie de inundación (García et al., 2013).

Objetivos

El objetivo del trabajo es indagar acerca de las potencialidades de uso de un modelo con grilla triangular irregular en la simulación bidimensional para caracterizar la hidrodinámica de un tramo del río Paraná Inferior comprendido entre el km 410 y el km 452 de la ruta de navegación Santa Fe – Océano. Se contrastaron los resultados obtenidos con los de un modelo bidimensional completo aplicado por Basile et al. (2015) y con los de un modelo cuasi-2D implementado por Peruzzo et al. (2016) constituido también en el tramo. Además, se realizó un análisis de sensibilidad variando el tamaño de grilla y el intervalo de integración temporal. Se analizaron 2 tamaños de grilla y se realizaron simulaciones con 3 diferentes pasos de tiempo, para flujo impermanente.

Materiales y Métodos

El modelo de simulación implementado es el TELEMAT-2D (Hervouet, 2000) acoplado a la plataforma de pre y postprocesamiento de datos y resultados bajo entorno de ventanas Blue Kenue©. TELEMAT-2D es un modelo

bidimensional de uso gratuito basado en el método de resolución numérica por elementos finitos para resolver las ecuaciones bidimensionales completas para aguas poco profundas.

La aplicación del modelo, se inició con la definición topobatómica del cauce principal. Para esto, se constituyó el modelo digital del terreno del fondo del río, las márgenes e islas a partir de datos existentes recopilados de relevamientos realizados por FICH (2004 y 2006). El Riacho Paraná Viejo se completó con datos relevados entre los años 2010 y 2012 (DNVN-DPI, 2014). Se digitalizaron las curvas de nivel del fondo georeferenciadas al sistema de coordenadas POSGAR 94 Faja 5 Datum WGS 1984 con cotas referidas al cero IGN. Se ajustó la base espacial del área de modelación mediante un mosaico construido a partir de 3 cartas náuticas provistas por el Servicio de Hidrografía Naval (SHN, 2014) (Figura 1 a). Luego se crearon dos representaciones espaciales del fondo del cauce principal utilizando mallas computacionales de distinto tamaño. Mediante el software Blue Kenue©, se construyeron dos grillas triangulares, una con una distancia entre nodos igual a 100 metros (M100) y otra con una distancia de 50 metros (M50), ambos niveles de detalle permitieron capturar toda la información disponible de relevamientos existentes del fondo del cauce principal. La constitución M100 quedó conformada por 10361 nodos y 19788 elementos, mientras que la constitución M50 por 40712 nodos y 79501 elementos. En la Figura 1b se presenta una imagen de la constitución M50 donde se observan los niveles del lecho expresados en m referidos al cero IGN.

El modelo fue calibrado y validado en ambas constituciones para estados de flujo permanente en un rango de aguas bajas a altas comprendiendo caudales entre 11640 m³/s hasta 28600 m³/s. Los caudales empleados en las simulaciones corresponden a caudales aforados por FICH (2004 y 2006) y por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación en la estación Paraná-Timbúes. El parámetro de calibración considerado fue el coeficiente de rugosidad de Manning η y las variables de ajuste fueron los niveles observados en los hidrómetros de Puerto San Martín (PSM, km 448) y Rosario (ROS, km 416). Asimismo, se realizaron simulaciones en flujo impermanente reproduciendo la serie de niveles observada en el período 01/01/2004 al 31/12/2004 con intervalos de tiempos de cálculo igual a 5, 10 y 30 s.

Para las simulaciones en flujo permanente, los caudales aforados fueron ingresados como condición de borde aguas arriba y la condición de borde aguas abajo se constituyó con la altura de agua asociada al caudal entrante. A partir de estas simulaciones con flujo permanente se determinó una relación altura-caudal que se empleó como condición de borde aguas abajo en las simulaciones con flujo impermanente, mientras que, aguas arriba se ingresó la serie de caudales diarios aforados para el período 01/01/2004 al 31/12/2004. El modelo fue testeado respecto a su capacidad de reproducir la derivación de caudales en las cuatro bifurcaciones que presenta el tramo en estudio: 1. Isla El Banco-km 449; 2. Isla Rosita-km 440; 3. Isla Carlota-km 436 y 4. Isla Ing. Sabino Corsi-km 416.5. Para cada uno de los 7 escenarios de flujo

permanente simulados se estimaron los caudales derivados por el brazo derecho e izquierdo en estas secciones y se compararon con caudales aforados por FICH (2004 y 2006). Además, se testeó la capacidad del mismo de reproducir la distribución transversal de caudales específicos en distintas secciones transversales donde se contó con distribuciones observadas en mediciones de campo con ADCP realizadas también por FICH (2006) en el periodo noviembre-diciembre 2004 y febrero-marzo 2006.

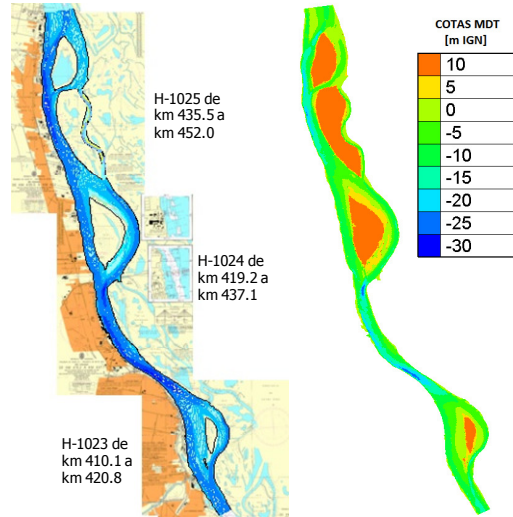


Figura 1.- (a) Curvas de nivel digitalizadas según relevamientos de FICH (2004) junto con las cartas náuticas del SHN; (b) Constitución del modelo M50 y MDT

Evaluación de Resultados

En flujo permanente, el rango de valores del coeficiente de rugosidad de Manning que proporcionó el mejor ajuste en términos de niveles estuvo comprendido entre 0.023 para aguas bajas y 0.022 para aguas altas para la constitución M100, mientras que, para la constitución M50 estuvo entre 0.025 y 0.024 respectivamente. El error relativo porcentual medio entre niveles observados y simulados es de 0.61% para M100 y 0.59% para M50. Se observa que el modelo distribuye adecuadamente los caudales en las bifurcaciones que presenta el tramo de río en estudio para ambas constituciones. El valor medio de los errores relativos porcentuales entre porcentajes de caudales derivados por el brazo derecho observados y modelados es de 2.74% para la constitución M100 y de 2.12% para la modelación M50. En las cuatro secciones analizadas el brazo derecho corresponde al curso principal. En la Figura 2 se presenta la comparación entre caudales unitarios aforados con los resultados obtenidos en las simulaciones para caudales $Q=14310 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Q=19570 \text{ m}^3/\text{s}$ en una de las secciones estudiadas ubicada en el km 440. La calidad del ajuste fue evaluada con el coeficiente de correlación R^2 el cual quedó comprendido entre 0.74 y 0.96 para la constitución M100 y 0.77 y 0.96 para M50. En régimen impermanente, el modelo reproduce adecuadamente las series de niveles observados en PSM y ROS. Para la constitución M100 se clasifica entre buena y muy buena la aproximación para intervalos de tiempos de cálculo de 5 y 10 s, y entre satisfactorio y muy bueno para 30 s. Mientras que, para la constitución M50 el ajuste resultó entre bueno y muy bueno, para los tres intervalos de tiempos de cálculo utilizados en las simulaciones.

Conclusiones

El modelo bidimensional TELEMAC-2D fue implementado para simular la hidrodinámica en régimen permanente e impermanente de un tramo del río Paraná Inferior. A partir del

grado de aproximación obtenido entre niveles y caudales observados versus calculados se concluye que los resultados han sido aceptables. En lo que respecta al tamaño de la grilla, se observa que los resultados alcanzados para ambas constituciones presentan diferencias poco significativas. Se recomienda trabajar con un tiempo de cálculo de 10 s para la constitución M100 y de 30 s para la constitución M50, ya que resultaron los mejores ajustes para régimen impermanente.

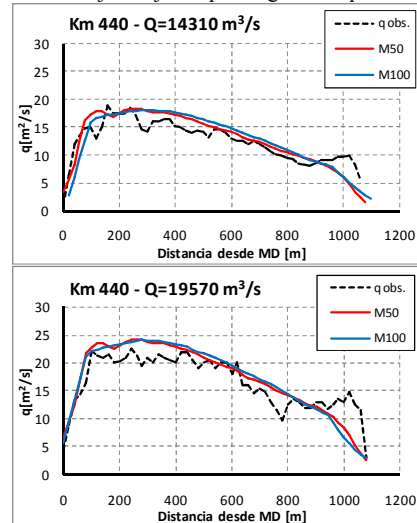


Figura 2.- (a) Simulación $Q=14310 \text{ m}^3/\text{s}$; (b) Simulación $Q=19570 \text{ m}^3/\text{s}$. Comparación de la distribución de caudales unitarios calculados y observados en el km 440.

Referencias

- Basile, P.A., Riccardi, G., Peruzzo, F. y Trivisonno F. (2015). "Modelación Hidrodinámica de un tramo del Río Paraná Inferior", Séptimo Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Montevideo, Uruguay.
- DNVN-DPI - Dirección Nacional de Vías Navegables Delegación Paraná Inferior (2014). Cartografía de río Paraná. Datos topobatimétricos tramo km 232 – 480. Rosario.
- FICH - Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (2004). *Estudios Hidráulicos y Morfológicos Zona Isla de la Invernada, Río Paraná. Informe final.* FICH, UNL.
- FICH - Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (2006). *Estudios Complementarios Hidráulicos y Morfológicos de la Zona de la Isla de la Invernada. Informe final.* FICH, UNL.
- García, M., Basile, P.A., Riccardi, G. y Rodríguez, J.F. (2013). "Modelling Hydrodynamic and Sedimentation Processes in Large Lowland Rivers: An Application to the Paraná River (Argentina)", 35th IAHR World Congress, Chengdu, China.
- Guerrero, M. y Lamberti, A. (2013). "Bed-roughness investigation for a 2-D model calibration: the San Martín case study at Lower Paraná", *International Journal of Sediment Research*, 28 (4), pp. 458–469.
- Hervouet, J.M. (2000). *TELEMAC modelling system: an overview.* Hydrological Processes, 14(13), 2209–2210.
- Peruzzo, F., Riccardi, G., Basile, P.A. (2016). "Modelación cuasi-bidimensional de escurrimiento superficial en cauce principal del tramo Paraná inferior km 410–452", Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos IFRH2016, Ezeiza, Argentina.
- SHN – Servicio de Hidrografía Naval (2014). Base de Datos Digital de Cartas Náuticas de Río Paraná Inferior, <http://www.hidro.gov.ar/cartas/cartasnauticas.asp>.