

MODELACIÓN HIDRODINÁMICA DE LAS INTERVENCIONES SOBRE EL RÍO PILCOMAYO EN LA ZONA DE EMBOCADURA

Baldissone C. M.¹, Gyssles P.², Spalletti P.³, Hillman G.², Brea D.³, Irigoyen M.³, Testa Tacchino⁴, Rodriguez A.²

¹ Instituto Nacional del Agua (INA). ² Centro de Estudios y Tecnología del Agua, UNC. ³ Facultad Ingeniería, UNLP. ⁴ CONICET
E-mail: cm.baldissone@gmail.com

Introducción

El río Pilcomayo, que discurre en el límite entre Paraguay y Argentina, está afectado a convenios en los cuales ambos países se comprometen a llevar acciones coordinadas para lograr el reparto equitativo de las aguas y sedimentos. La zona donde actualmente se materializa la bifurcación está a unos 25 km aguas abajo de la entrada del río a la provincia argentina de Formosa, allí un canal sobre la margen izquierda deriva las aguas hacia territorio paraguayo recibiendo la denominación de "Embocadura". La alta inestabilidad fluvial propia de éste sistema particular y diferencias de mantenimiento en ambos cauces (Canal paraguayo y río Pilcomayo aguas abajo de éste último), han motivado que desde mayo de 2012, en temporada de caudales bajos, las aguas del río discurren íntegramente por el canal paraguayo, impidiendo el cumplimiento de los acuerdos firmados.

Desde los organismos internacionales y provinciales argentinos se han ejecutado una serie de intervenciones en el terreno con el fin de mejorar la distribución actual de caudales. La principal está compuesta por el Canal Las Torres, un canal *by pass* en territorio argentino, que reconecta a unos 1500 m aguas arriba de la embocadura del canal paraguayo, el cauce del río Pilcomayo con el cauce actualmente seco.

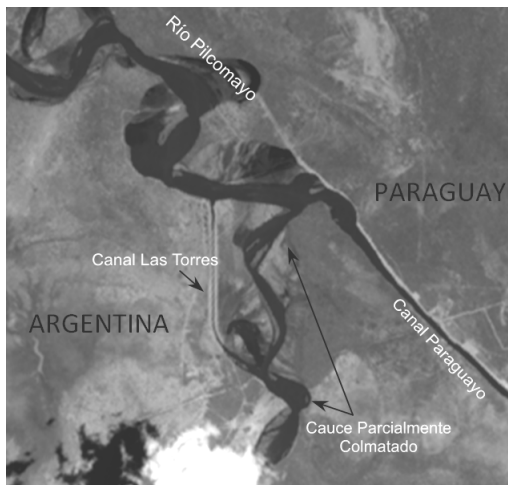


Figura 1.- Vista de la zona de Embocadura. Satélite IRS, fecha 25/01/13.

Objetivos

El objetivo principal del trabajo es elaborar modelos matemáticos que permitan analizar el funcionamiento del sistema "Embocadura" para la situación actual y eventuales intervenciones.

Uno de los resultados esperados de la modelación es la estimar la distribución de agua para cada país. Las derivaciones para el lado argentino son el canal Las Torres, y el río Pilcomayo, que actualmente se encuentra parcialmente colmatado, mientras que hacia la margen izquierda es el canal paraguayo.

Materiales y Métodos

La elección de la metodología de trabajo surgió de considerar aquella que proporcione un compromiso razonable entre representatividad del fenómeno y los resultados esperados.

En una primera instancia se elaboró un modelo en redes de canales, empleando el software HEC-RAS, representándose los canales en territorio paraguayo y argentino, así como el cauce del río Pilcomayo con sus cauces de inundación. La longitud del modelo comprende 85 km desde Misión la Paz hasta la Embocadura, y una extensión de 95 km aguas abajo de la misma tanto en el cauce del Pilcomayo como en el canal paraguayo.

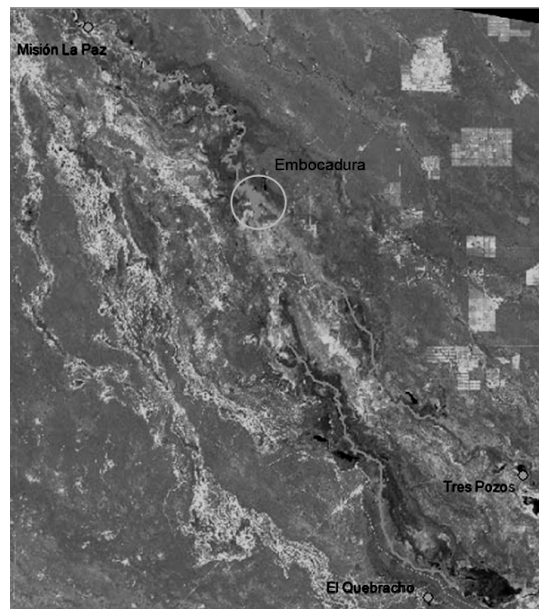


Figura 2.- Cauce principal y secciones incorporadas al modelo 1D sobre la imagen Landsat 5 del año 2010

Este modelo se calibró con datos de campo y permitiría obtener los parámetros de rugosidad y condiciones de borde para la siguiente etapa en la modelación del problema. La misma consistió en la puesta a punto de un modelo bidimensional usando el software Delft3D. Para este estudio, el área de interés ha quedado supeditada a una longitud menor a la del modelo 1D: 2500 m aguas arriba de la embocadura, 1800 y 3300 m de canal paraguayo y río Pilcomayo respectivamente.

Se construyeron dos mallas de cálculo correspondientes a las dos situaciones topográficas dominantes: Sin canal Las Torres y con dicho canal. La primera malla se compone de 29725 elementos (Figura 3-Izquierda). Los tamaños de las celdas varían desde los 70 m hasta los 6 m en zonas de mayor gradiente en la topografía son abruptas.

Para estudiar el efecto del canal Las Torres se incorporó una nueva malla de mayor definición (Figura 3-Derecha) que permite considerar el flujo entrante en el nuevo canal. Las dimensiones medias de los elementos de malla añadida oscila entre 70 m a 2.5 m. En total el dominio de cálculo con el CLT incorporado consta de 31584

elementos, de los cuales 10287 son del canal y 21297 elementos, el resto de la malla.

Según las condiciones de la grilla e hidráulicas, se adoptó un paso de tiempo de cálculo $\Delta t=0,005$ minutos (0,3 segundos) para la grilla sin el canal y un paso de tiempo $\Delta t=0,002$ minutos (0,12 segundos) para la grilla con el canal Las Torres.

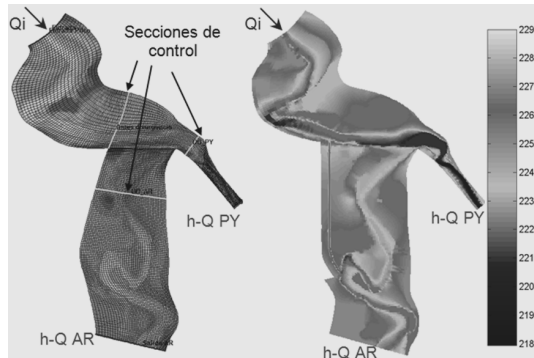


Figura 3.- Dominio de cálculo de los modelos bidimensionales.

La extensión de los tramos representados con el modelo unidimensional garantizan que las condiciones de borde en el bidimensional no se vean influenciadas por eventuales incertidumbres en los contornos aguas arriba y aguas abajo de la modelación 1D.

La información topográfica utilizada para las modelaciones se obtuvo de un modelo digital de elevaciones elaborado *ad hoc*. Para la construcción de dicho modelo fue necesario compatibilizar diversas fuentes de información y base de datos mediante la utilización de un sistema de información geográfica, priorizándose siempre la información más actualizada. Las fuentes de información incluyeron por un lado relevamientos topográficos en la zona de Embocadura (2012) y zonas aisladas (2006 y 2007), y por otro relevamiento provenientes de sensoramiento remoto: MDE obtenido de pares estereoscópicos GeoEye-1 combinado con MDE de la SRTM. E. Se emplearon como apoyo imágenes satelitales de Landsat 5, Landsat 7 y ISR.

Resultados

A continuación se muestran los resultados de las modelaciones para ambas mallas de cálculo.

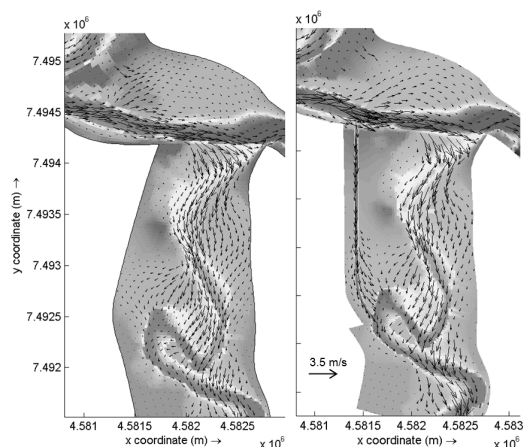


Figura 4.- Resultado de las modelaciones 2D. $Q_{in}=2000 \text{ m}^3/\text{s}$.

De dichas modelaciones se obtuvo la distribución porcentual de caudales derivados para cada país según el caudal de entrada al sistema "Embocadura". Por otro lado,

se identificó que para un caudal de entrada cercano a $500 \text{ m}^3/\text{s}$ el cauce parcialmente colmatado del Pilcomayo comienza a captar agua.

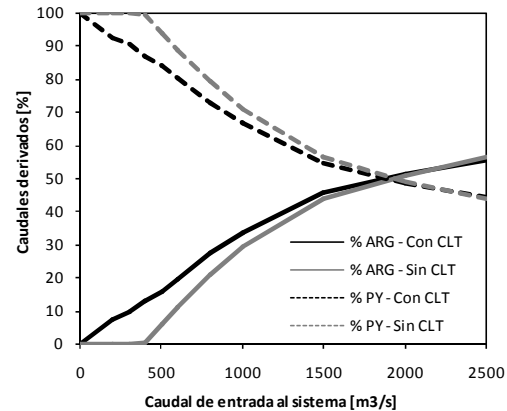


Figura 5.- Distribución de caudales entre Argentina y Paraguay

Del análisis del comportamiento del canal Las Torres se verificó que tiene una mayor influencia en la distribución para caudales de ingreso medios y no así para caudales bajos o altos. Como referencia se puede decir que el rendimiento aumenta rápidamente para caudales bajos y es máximo entre 400 y $800 \text{ m}^3/\text{s}$, cercano al 10 y 14 % del caudal de ingreso. Si se relativiza su influencia con respecto al caudal derivado hacia la argentina, su eficiencia es muy alta para caudales bajos ya que es la única entrada hacia argentina y cae a por debajo del 50 % para caudales de ingreso al sistema cercanos a $600 \text{ m}^3/\text{s}$ y al 20 % para caudales cercanos a $2000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Conclusiones

Los resultados de la modelación unidimensional no solamente permitieron inferir en la distribución de caudales sino también sirvieron para suministrar parámetros de entrada fundamentales para el modelo bidimensional.

Con el empleo de la modelación 2D se pudo determinar para qué caudal de entrada al sistema Embocadura el Pilcomayo parcialmente colmatado comienza a captar agua. Se estimó también la distribución de caudales. Se evaluó con éxito, el comportamiento del Canal Las Torres para diferentes caudales de entrada al sistema. Se conocieron además los patrones de flujo en la zona, como líneas de corriente, zonas de recirculación y concentraciones de velocidades.

Referencias Bibliográficas

Baldissone C. M., Gyssels P., Spalletti P., Brea D., Testa Tacchino A., Hillman G., Rodríguez A., Zambón H. (2013): "Modelación Hidrodinámica Bidimensional de las Intervenciones para la Distribución de las Aguas del río Pilcomayo entre Argentina y Paraguay", *Congreso Nacional del Agua 2013*.

Brea J. D., Spalletti P., Irigoyen M., Hillman G. (2013): "Proyecto de modelización matemática del río Pilcomayo en la zona de Embocadura. Informes de Avance 1 y 2" *Facultad de Ingeniería UNLP*

CTN (2012). "Relevamiento topobatómetrico del río Pilcomayo en la zona de la embocadura. Informe final". *Realizado por Peters, Christian Raúl para la CTN, Formosa*.