

## Problemáticas hidrosedimentológicas en la cuenca media-baja del Río Pilcomayo y aportes a la solución

CRISTIAN MARCELO BALDISSONE  
ANDRÉS RODRÍGUEZ  
MARIANA PAGOT  
MARIANO CORRAL  
HÉCTOR FARIÁS  
ALEJO TESTA TACCHINO  
GERARDO HILLMAN

### Resumen

En la denominada cuenca baja del Río Pilcomayo, zona comprendida entre el límite de Argentina y Paraguay, en el tramo de las provincias argentinas de Salta y Formosa, el río presenta una serie de mecanismos fluviales que hacen sumamente compleja la gestión del agua, sedimentos y material vegetado. Procesos naturales como el atarquinamiento con retroceso progresivo del cauce y la posibilidad de avulsión del mismo, ponen en riesgo el sistema distribuidor de aguas (en la sección denominada “Embocadura” ex “Pantallón”) entre Paraguay y Argentina. Estas circunstancias han promovido la suscripción de acuerdos entre ambos países, por los cuales se comprometen a coordinar acciones conducentes por un lado, al uso equitativo del recurso y por otro, a la protección de los puntos críticos para evitar el cambio de la traza del río hacia alguno de los dos países. Enmarcados en este contexto, desde el CETA junto con el INA-CIRSA se ha trabajado en diversos aspectos técnicos que colaboran en la concreción de estos objetivos.

### Introducción

El Pilcomayo es un sistema fluvial de régimen muy variable y no regulado, con una de las tasas de transporte de sedimentos en suspensión más altas del mundo. El río Pilcomayo en llanura constituye uno de los mejores ejemplos de mega-abanico fluvial, frecuentes en las faldas orientales de

los Andes, en América del sur, es también el mayor de ellos (más de 200.000 km<sup>2</sup>) y el único en el mundo que presenta el fenómeno de extinción de cauce por atarquinamiento.

Esta secuencia de fenómenos se ha traducido en un progresivo retroceso del curso del río y se estima que en este tiempo su desembocadura final se ha trasladado hacia aguas arriba aproximadamente 270 km (Martín-Vide, 2006), con un ritmo de retroceso de 10 km. por año, perdiéndose gran cantidad de tierras productivas y dejando sin el recurso hídrico a un gran número de poblaciones locales.

La génesis de este proceso está claramente identificada y responde a las altas tasas de sedimentación presentes en esta parte de la cuenca y al aporte de troncos desde las márgenes durante las crecidas. Producto de la sedimentación constante, el río en la cuenca media presenta una geometría de cauce colgado, lo que sumado a su alta tasa de migración lateral y la no regulación de sus caudales, propician

condiciones de alto riesgo de avulsión, es decir cambio repentino del cauce y formación de uno nuevo, en este caso por una crecida en la cual el cauce desborda en puntos específicos.

El entendimiento acabado de los procesos fluviales actuantes en el sector y cómo éstos son condicionados por las acciones tomadas en la cuenca son una relación clave para tratar de abordar medidas estructurales para el manejo del agua, los sedimentos y la vegetación.

Si bien hay antecedentes en la Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo (CTN) tal como los trabajos de Martín-Vide, Cafaro, Spalletti, Brea y Fariás entre otros, los cuales se encuentran sistematizados y disponibles en el sitio web <http://www.pilcomayo.net>, aún hay poca experiencia internacional en éste tipo de ríos, y a nivel regional, la experiencia es puntual, dispersa y con limitaciones de recursos. El propósito de este artículo es el de mostrar los trabajos que profesionales, docentes



Figura 1. Esquema de la cuenca y ubicación de la zona de estudio (<http://www.pilcomayo.net>).



e investigadores relacionados al CETA están llevando a cabo respecto a la problemática.

### Aspectos fluviales que se están abordando desde el CETA

Desde el CETA junto con el INA-CIRSA, y en forma coordinada con la Mesa Fluvial de la Comisión Trinacional (grupo de trabajo técnico asesor de la CTN) impulsada por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, se está trabajando en varios aspectos fluviales de esta compleja cuenca internacional.

Desde el punto de vista técnico se están abordando dos problemáticas, por un lado aquellas relacionadas a los puntos críticos, zonas de posibles cambios del curso del río con riesgo de avulsión y la otra concerniente a la división equitativa de agua y sedimentos entre Paraguay y Argentina.

Referido al primer punto, en el 2010 se completó una serie de trabajos, el primero de ellos: “Estabilización del cauce principal y márgenes del río Pilcomayo en segmentos identificados como puntos críticos. Tramo: Hito 1 / D’Orbigny - Misión la Paz / Pozo Hondo (Corral y Baldissonne, 2010) en este trabajo se aplicaron técnicas GIS para poder estimar patrones de comportamiento de ese tramo del cauce durante crecidas. Se utilizaron imágenes satelitales e imágenes de radar (SRTM) para elaborar un modelo digital de elevaciones (DEM) que luego fue explotado como insumo esencial para poder alimentar el modelo HEC-RAS, en el cual se modeló una serie de escenarios hidrológicos representativos de situaciones de crecidas con varias recurrencias.

A partir de la selección de una serie de imágenes satelitales Landsat 7 se pudieron mapear las manchas de inundación asociadas a crecidas que se presentaron en años recientes, y estos mapas se usaron para llevar a cabo un proceso de pseudo-calibración de los parámetros del modelo hidráulico. En función de los resultados obtenidos se determinaron los niveles de inundación que alcanzará el agua para diferentes escenarios, los sectores de desborde y las correspondientes manchas de inundación.

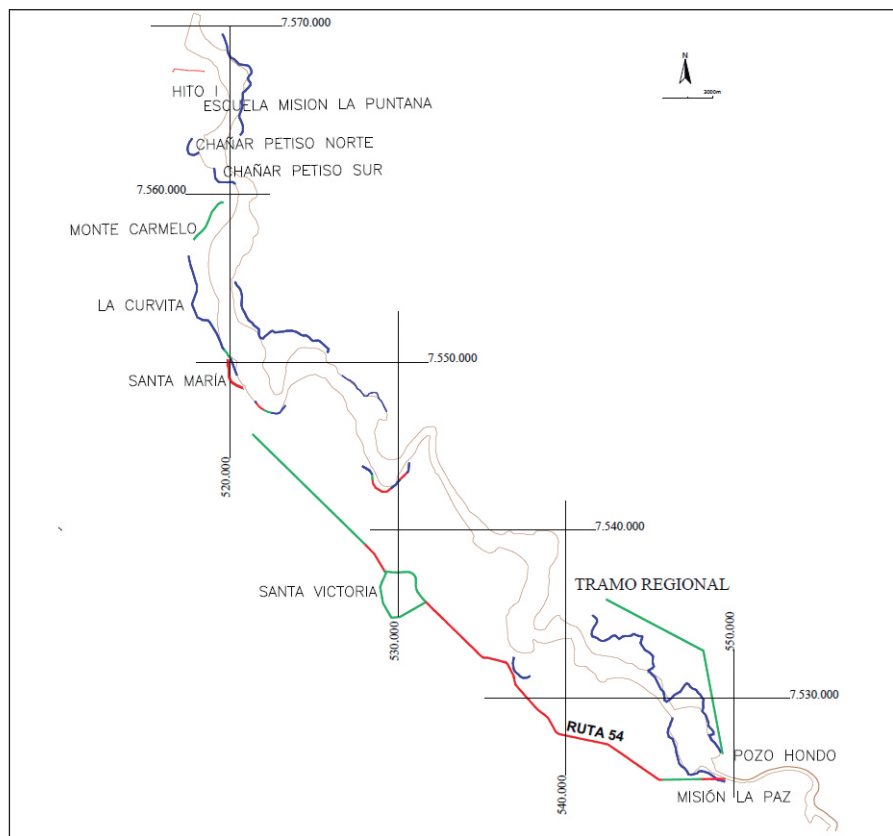


Figura 2. Obras de estabilización de puntos críticos con riesgo de avulsión.

Estos resultados han sido comparados con los obtenidos a través del análisis de imágenes satelitales con muy buena concordancia. Teniendo en cuenta caudales con recurrencias que se consideran razonables para el diseño de obras, se estimaron los diferentes umbrales de desbordes en cada sector lo que permitió establecer una jerarquía o prioridad para ejecución de obras.

En general las obras planteadas tienen el objetivo de contener las crecidas evitando la afectación de las aguas a las comunidades y a las obras de infraestructura presentes en la zona. En este caso se han agrupado las obras propuestas en tres grandes grupos: Obras de Contención, Obras de Estabilidad del Cauce, Obras de Mejoramiento Hidráulico, o bien, combinaciones de las mismas.

La misma metodología se desarrolló para el tramo correspondiente entre Misión la Paz / Pozo Hondo y la zona de embocadura. En la figura siguiente se muestran las obras resultantes en el primero de los tramos mencionados.

Siguiendo con la misma línea de trabajo, actualmente existe otro proyecto en la Mesa Fluvial de la Dirección Ejecutiva (DE) de la CTN, destinado a profundizar en el conocimiento del comportamiento hidráulico del cauce en el sector con riesgo de avulsión. El mismo

se relaciona con la estimación de caudales desbordados hacia cada margen e incluye una propuesta metodológica para la determinación de su distribución lateral.

Las metodologías usadas para el desarrollo de este trabajo incluyen el análisis de series históricas de caudales, modelación hidrodinámica 2D, utilización de productos de observación satelital y modelación física en las instalaciones del Laboratorio de Hidráulico de la UNC.

En el contexto de este trabajo, se efectuó primeramente un análisis preliminar explorando la potencialidad y/o aplicabilidad de herramientas para la modelación 2D del tramo en estudio, con la consigna de adoptar aquellas que proporcionen un compromiso razonable entre costos de implementación y representatividad adecuada del fenómeno. En particular se trabajó como caso piloto un sector del río Pilcomayo, más específicamente sobre la zona denominada curva “El Chañaral” ( $62^{\circ}46'52.904''W$ ;  $22^{\circ}10'48.674''S$ ), ubicada entre las localidades de Santa Victoria e Hito 1, al noroeste de la provincia argentina de Salta. (Figura 3)

El modelo hidráulico empleado fue el IBER (CEDEX, 2010) promovido por Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX de España. IBER es un modelo

numérico de simulación de flujo turbulento, a superficie libre y en régimen no permanente integrado a la escala temporal de Reynolds para aguas poco profundas (2DH). Trabaja sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares o cuadriláteros.

Se ha podido observar mediante la aplicación de éstas técnicas los diferentes patrones de circulación y campos de velocidad en las cercanías de las márgenes y en la zona de bajas de las mismas (Figura 3), lo que ha permitido

delimitar correctamente los umbrales de desbordes y su caudal.

Con una metodología similar, se está estudiando el comportamiento del sistema de bifurcación de caudales frente a diferentes propuestas destinadas a equilibrar la partición actual. El trabajo consiste en la modelación hidráulica bidimensional de la zona de embocadura e incluye la incorporación de la propuesta de un canal hacia el lado argentino (Canal Las Torres) y otras posibles actuaciones como dragados y cambios en la geometría del

canal paraguayo para evaluar el funcionamiento del conjunto. El objetivo es determinar los porcentajes de agua derivado para cada lado en diferentes caudales de entradas a la zona de embocadura.

Por otro lado, desde el Laboratorio de Hidráulica - CETA en forma conjunta con la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, se está trabajando también en el seguimiento multitemporal de los procesos morfológicos reflejados en los meandros aguas arriba de la Embocadura.

En la siguiente imagen satelital (Figura 4) se definen los meandros analizados visual y técnicamente a través de imágenes satelitales LANDSAT de alta resolución.

El proceso de análisis consiste en identificar el desplazamiento que se presenta entre dos imágenes secuenciales temporalmente y vincular dicho desplazamiento con datos hidrométricos medidos en la estación de aforo de La Paz, los cuales se encuentran disponibles en la base de datos única de la DE (la misma se puede consultar en [www.pilcomayo.net](http://www.pilcomayo.net)).

En la Tabla 1 se presentan las imágenes que están en proceso de análisis cubriendo el periodo Octubre 2011 - Agosto 2012.

### Consideraciones finales y trabajo futuro

Se ha ilustrado en forma sintética algunos de los estudios fluviales que se están realizando en el Pilcomayo en el ámbito de trabajo del CETA: la simulación hidrodinámica 1 y 2D de los principales puntos críticos para caudales medios y altos, el análisis y simulación numérica de la zona de embocadura con distribución de caudales y un análisis temporal de los meandros más importantes aguas arriba de la embocadura.

Si bien la problemática del río Pilcomayo excede ampliamente los intentos desarrolladas en estos trabajos, éstos sin dudas cumplen un papel importante dado el nuevo enfoque de las metodologías y resultados obtenidos.

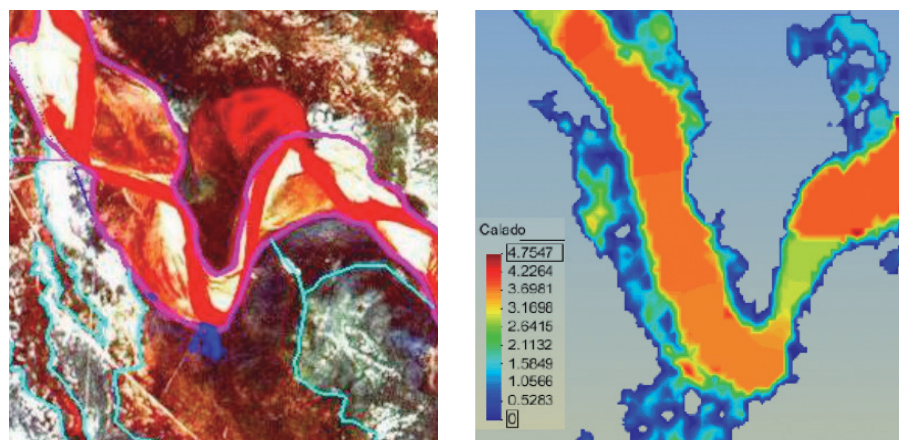


Figura 3. Izq.: Imagen satelital del punto crítico "El Chañaral" con desborde. Der.: Resultado de la modelación numérica del desborde.

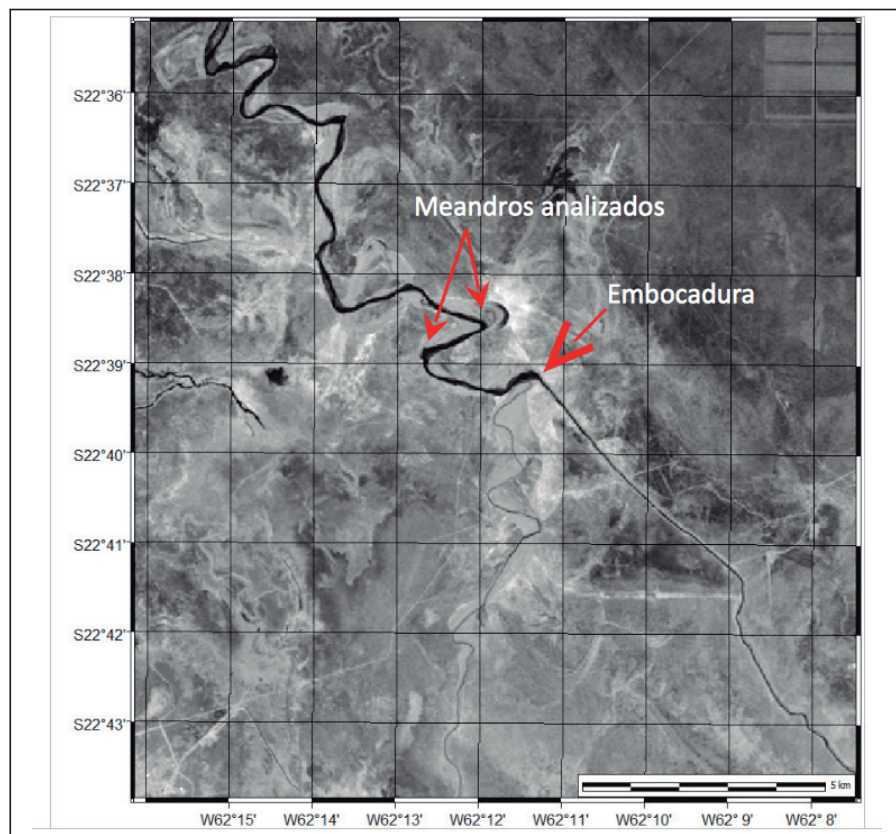


Figura 4. Zona de Embocadura y meandros aguas arriba. Imagen satelital del 20/10/12.


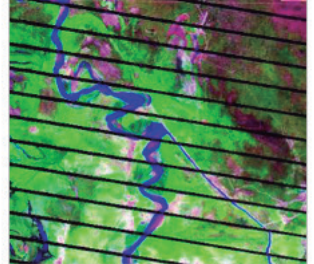
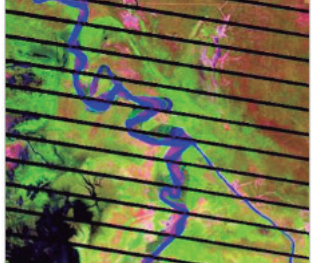
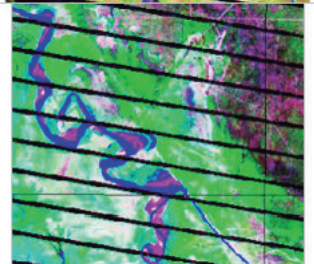

Fecha	Imágenes satelitales LANDSAT	Caudal en Misión La Paz (m <sup>3</sup> /s)	Nivel del agua en Misión La Paz (m)
20 Octubre 2011		13.48	3.01
16 Enero 2012		354.11	3.99
04 Marzo 2012		653.89	4.21
20 Marzo 2012		547	3.41
11 Ago 2012		38	3.06

Tabla 1. Asociación de imágenes satelitales, caudales y nivel de agua.

## Agradecimientos

A los organismos de cuenca e instituciones que han facilitado la información técnica básica: Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo (CTN), UPCA Formosa y SSRRHH de la Nación. Se agradece además el financiamiento en forma de becas de postgrado y subsidios por parte del INA-CIRSA, SECYT UNC y CONICET.

## Referencias bibliográficas

Baldissonne M., Corral, M., Farías, H. D., Brea, J. D., Hillman, G. D., Hopwood, J. H., Zambón, H., Laboranti, C., Cafaro, E. y Rodríguez, A. (2011). *Un análisis de estrategias para el manejo de aguas, sedimentos y vegetación en la cuenca baja del río Pilcomayo*. Quinto Simposio Regional de Hidráulica de Ríos 2011.

Cafaro E. y Ramonell (2007) "Evaluación de la información necesaria para el diagnóstico de una posible zona de avulsión del río Pilcomayo". Informe Final de Pasantía y Cooperación.

CEDEX. (2010). IBER: *Two-dimensional modelling of free surface shallow water flow: Hydraulic Reference Manual*.

Corral, M. y Baldissonne, C. M. (2010): "Estabilización del cauce principal y márgenes del río Pilcomayo en segmentos identificados como puntos críticos, tramo Hito 1 / D'orbigny – Misión la Paz / Pozo Hondo". Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo.

Farías, H. D. y Cafaro, E. (2010). *Estabilización del cauce principal y márgenes del río Pilcomayo en segmentos identificados como puntos críticos. Tramo: Misión la Paz / Pozo Hondo - El Pantalón*. Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo.

Lagranja, C. (2001). *Pilcomayo, Río de la Vida*. Gobierno de la Provincia de Formosa.

Martín-Vide, J. P. (2006). *Problemática del Río Pilcomayo en la cuenca baja: Estado actual, historia, análisis, expectativas y propuestas*. Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Pilcomayo.

Plan Maestro de Gestión Integrada de la Cuenca del río Pilcomayo. (2010). Documento Base Resultante del Proceso de Socialización. Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo.

\* Cristian Marcelo Baldissonne<sup>1</sup>,  
<sup>2</sup>, Andrés Rodríguez<sup>2</sup>, Mariana Pagot<sup>2</sup>, Mariano Corral<sup>3</sup>, Héctor Farías<sup>3</sup>, Alejo Testa Tacchino<sup>2</sup>, Gerardo Hillman<sup>2,4</sup>

- 1 Instituto Nacional del Agua - CIRSA.
- 2 Centro de Estudios de Tecnología del Agua, CETA.
- 3 Instituto de Recursos Hídricos FCEyT-UNSE.
- 4 Laboratorio de Hidráulica, FCEyFyN-UNC.