

## CRECIMIENTO AGUAS ARRIBA DE BANCOS DE ARENA E ISLAS EN EL RÍO PARANÁ

### UPSTREAM GROWTH OF SANDBARS AND ISLANDS IN THE PARANÁ RIVER

Edmundo C. Drago<sup>1</sup>, Mario L. Amsler<sup>1,2</sup> y Aldo R. Paira<sup>1,2</sup>

#### Resumen:

La identificación de algunas de las variables que intervienen en los procesos que dan origen a bancos e islas de cauce y controlan su evolución, se ha basado mayormente en estudios realizados en ríos pequeños y medianos o en experimentos de laboratorio con sedimento relativamente grueso donde predomina la carga de fondo. Si bien en investigaciones recientes se ha aportado información detallada acerca de esa dinámica en grandes ríos con fondo de arena, aún se carece de suficientes conocimientos referidos a los mecanismos relacionados con el transporte de sedimento de fondo en suspensión que inciden en su origen y evolución. La excepción la constituyen investigaciones llevadas a cabo en algunos grandes ríos asiáticos. En este trabajo se brindan datos surgidos de trabajos de campo y del análisis de cartas de navegación, fotografías aéreas e imágenes satelitales de un proceso fluvial poco investigado como lo es el crecimiento de bancos de arena aguas arriba del frente de islas y bancos en el río Paraná, uno de los más grandes de Sudamérica. Se destaca aquí el papel que jugaría el transporte de fondo en suspensión en el desarrollo de ese fenómeno.

**Palabras clave:** bancos de arena, islas, río Paraná.

#### Abstract

The identification of some of the variables which drive the origin of channel bars and islands and control their evolution has largely focused on results of studies performed in small to medium river sizes or laboratory flumes with relatively coarse sediment where bed load prevails. Although recent investigations have reported detailed information on the bars and islands dynamics in large sand-bed rivers, there is still a lack of knowledge concerning the mechanisms governing knowledge concerning the their origin and evolution associated with the flow and suspended bed sediment transport. The exception are investigations carried out in some large Asian rivers. This paper reports data obtained from field trips and the analysis of navigation charts, aerial photographs and satellite imagery about a scarcely investigated riverine process as the upstream growth of sand bars on island and bars fronts in the Paraná River, one of the biggest rivers of South America. The role that would play the suspended bed sediment transport in this phenomenon is highlighted.

**Keywords:** sandbars, islands, Paraná river.

#### INTRODUCCIÓN

La dinámica de bancos e islas de cauce ha sido objeto de intensa investigación dado el papel central que se les asigna en el desarrollo del entrelazamiento de cauces aluviales (Ashworth, 1996; Best y Bristow, 1993; Bridge, 2003; Schumm, 2005). El cuerpo de conocimientos habituales sobre estos tópicos proviene de experimentos de laboratorio y estudios de campo llevados a cabo en corrientes pequeñas o medianas, esto es, a reducidas escalas espaciales y con sedimento de fondo más bien grueso. Bajo estas condiciones, se comprobó que la carga de fondo fue el modo de transporte dominante y una evolución general hacia aguas abajo de aquellas geoformas a través de diversos procesos.

Los estudios de estos temas en ríos con carga mixta (considerables cantidades de sedimento de fondo en suspensión en relación con la carga de fondo) y a grandes escalas espaciales, son relativamente escasos si bien se han incrementado en los últimos años (Ashworth et al., 2000; Sambrook Smith et al., 2009; Szupiany et al., 2009, 2012). En estas circunstancias se ha observado, además de los procesos anteriores, un recrecimiento hacia aguas arriba de bancos e islas de cauce, un hecho poco documentado en la literatura (Popov, 1962 citado por Schumm, 2005; Coleman, 1969; Drago, 1973, 1977, 1990). En este trabajo se presentan datos acerca de este último fenómeno en el río Paraná a lo largo de su tramo alto

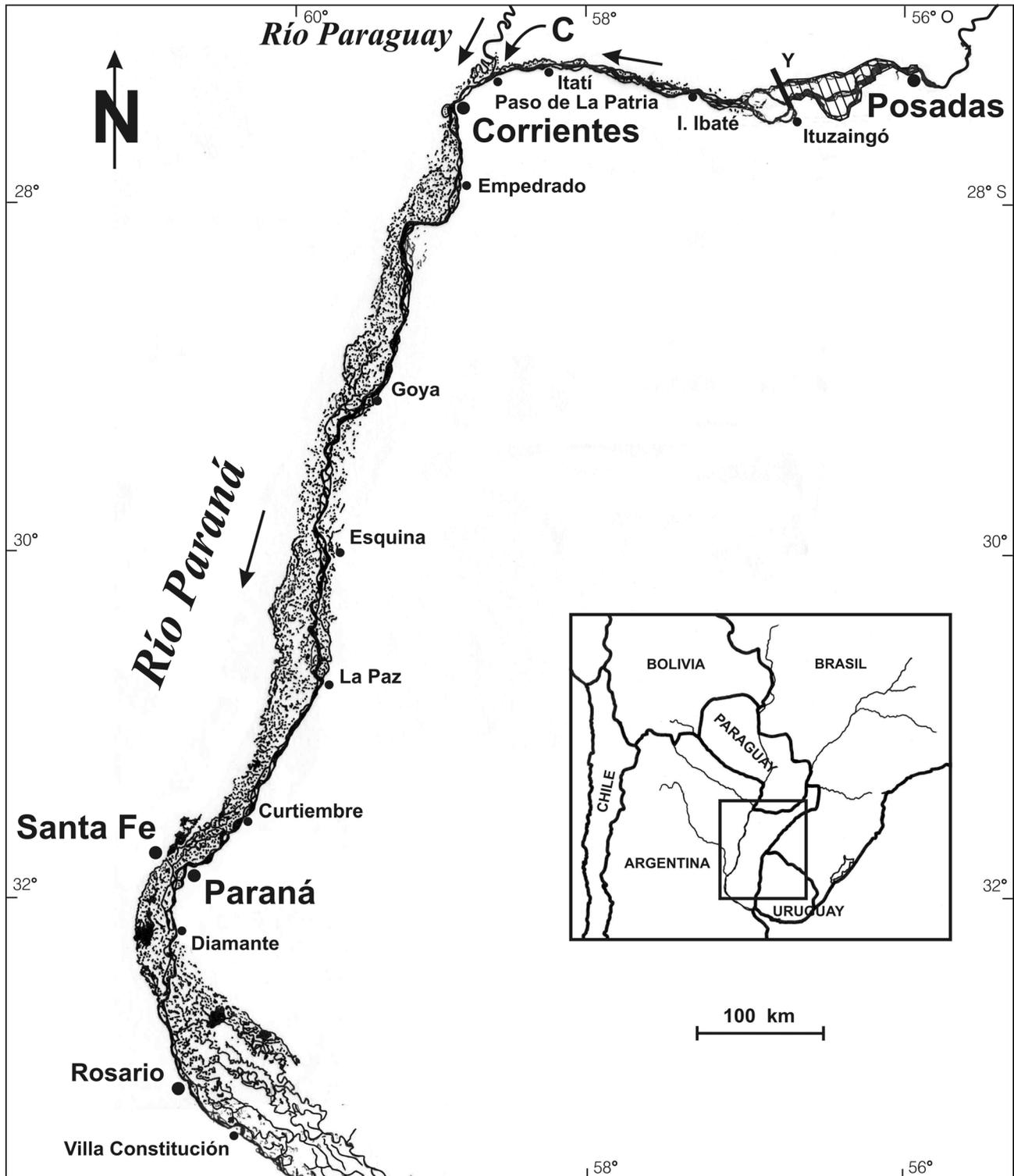
<sup>1</sup> Instituto Nacional de Limnología (INALI), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas-Universidad Nacional del Litoral (CONICET-UNL), Ciudad Universitaria, Paraje El Pozo, (3000) Santa Fe, Argentina. e-mail: edmundodrago@arnet.com.ar

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH), Universidad Nacional del Litoral (UNL), Ciudad Universitaria, Paraje El Pozo, (3000) Santa Fe, Argentina.

y medio, obtenidos desde diversas fuentes cartográficas y observaciones de campo. Los objetivos buscados fueron determinar las frecuencias de aparición de sedimentaciones aguas arriba de bancos e islas en relación con los otros tipos comunes de depósitos (bancos de cola y de herradura) y explorar la posible asociación de los cambios detectados en esas frecuencias con las variaciones en la granulometría del sedimento del lecho, la carga de fondo y la arena en suspensión a lo largo del sector estudiado.

### ÁREA DE ESTUDIO

Se ha analizado un tramo de 1087 km del río Paraná entre Ituzaingó (Corrientes, Argentina) y el ápice del delta cerca de Villa Constitución (53 km aguas abajo de la ciudad de Rosario, Argentina). Si se incluye el sub-tramo entre Posadas e Ituzaingó la longitud total del tramo asciende a 1216 km (Figura 1). Este último sector se incluyó con el fin de conocer el número de bancos antes de la construcción del embalse de Yaciretá.



**Figura 1.** Tramo estudiado del río Paraná. Y: presa de Yaciretá (el área sombreada corresponde a la superficie del embalse). C: confluencia de los ríos Paraná y Paraguay.

En toda esa longitud bancos e islas se concentran en los tramos ensanchados de cauce imprimiéndole la configuración entrelazada en planta con que se ha categorizado al cauce principal del río Paraná (Drago, 1977, 1990; "entrelazado con thalweg divagante" según Ramonell et al., 2002). Las islas son más estables debido al crecimiento de vegetación sobre los bancos originales formados y controlados por la dinámica del cauce principal. A lo largo del Alto Paraná las más estables son aquellas originadas a partir de afloramientos rocosos característicos entre Yaciretá y las cercanías de la ciudad de Corrientes. Aguas abajo de este punto bancos e islas están formadas por acumulaciones de arena de diverso origen (interacción morfología-escurrimiento de agua y sedimentación de fondo, sedimentaciones producidas por obstáculos en el lecho como raigones, etc.).

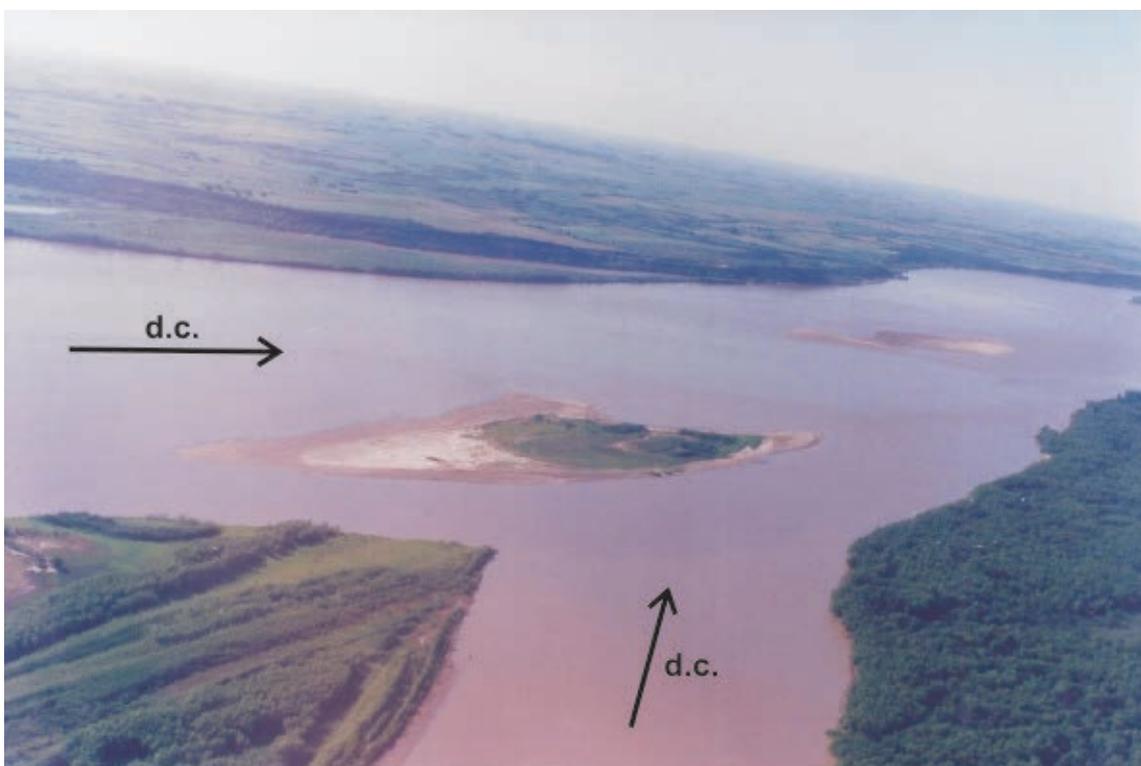
### MATERIALES Y MÉTODOS

Las longitudes de los sub-tramos seleccionados en el estudio variaron entre 39 y 129 km entre Posadas y la confluencia Paraná-Paraguay y 32 a 164 km entre este punto y Villa Constitución. Las longitudes medias de sub-tramos fueron de 54 y 59 km, respectivamente. Las mediciones se realizaron sobre fotos aéreas (1954, 1968, 1989, 1994) e imágenes satelitales (2000, 2008). Se complementaron, asimismo, con revisiones de ediciones viejas y nuevas de las cartas de navegación realizadas por el Servicio de

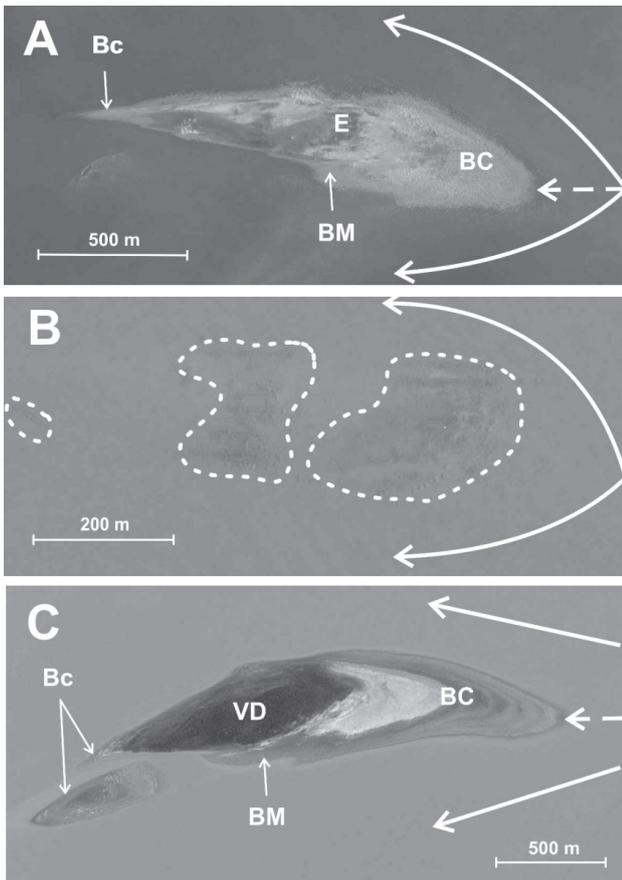
Hidrografía Naval de Argentina e inspecciones de campo. En todos los casos se registró el número total de bancos de arena e islas emergidos durante un estado del río de aguas medias. Los datos de tamaño del sedimento de fondo y parámetros hidráulicos necesarios para las estimaciones del transporte, se obtuvieron de bibliografía disponible (Drago y Amsler, 1998; Amsler y Prendes, 2000; Nicholas et al., 2012).

### RESULTADOS

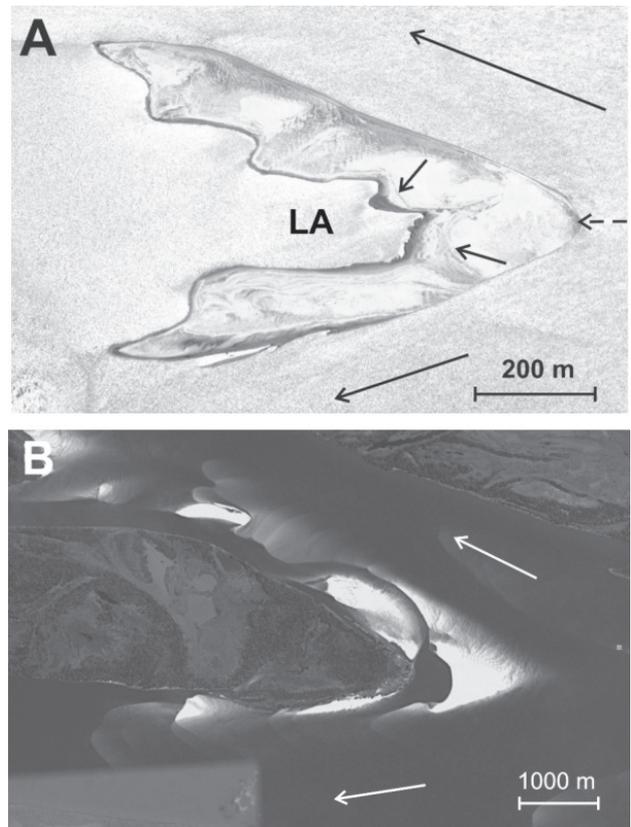
Los bancos e islas de cauce constituyen macro-formas muy comunes en el río Paraná con una apariencia en planta en forma de diamante, angosta y alargada. Son muy comunes los bancos en el extremo de aguas abajo de las islas ("bancos de cola") o en sus bordes laterales ("bancos marginales"). Menos frecuentes son los llamados "bancos en herradura" originados a partir de un núcleo arenoso y con dos depósitos creciendo aguas abajo separados por una zona de aguas muertas. A medida que esta forma evoluciona los dos depósitos arenosos incrementan sus longitudes y tienden a cerrarse aguas abajo formando una laguna pequeña y playa. Los depósitos aguas arriba o en el frente de grandes bancos e islas, llamados tentativamente aquí "bancos de cabecera", se forman junto con los otros tipos en los tramos entrelazados o ensanchados del cauce (Drago, 1973, 1990; Figuras 2, 3 y 4).



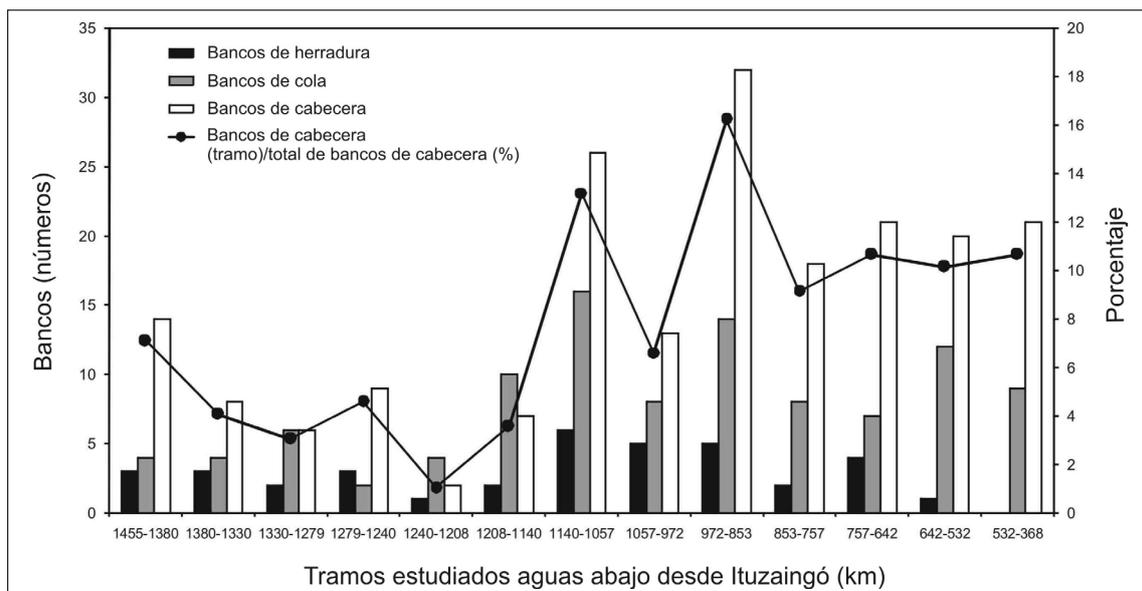
**Figura 2.** Banco de cabecera. Río Paraná (km 570; 31° 50' 25" Sur y 60° 30' 51" Oeste). Nivel hidrómetro Pto. Paraná: 1,84 m. Fecha: 16/01/2002. Nótese la formación de bancos marginales sobre ambos lados y un banco de cola. d.c.: dirección de la corriente.



**Figura 3.** Isla de cauce 27 km aguas arriba de la ciudad de Paraná (km 628) con bancos de cabecera (BC), marginales (BM) y de cola (Bc). A: año 2002 con vegetación pionera en la zona de formación del banco original (E). B: año 2002 durante una fase de inundación. C: año 2006 con vegetación densa (VD) cubriendo la zona del banco original.



**Figura 4.** Bancos en herradura. A: aproximadamente 6 km aguas abajo de la ciudad de Paraná. Nótese los típicos depósitos que le dan su forma característica y el futuro lago aluvial (LA) a formarse entre ellos; dunas y rizos aparecen sobre la superficie sin ningún tipo de vegetación. B: aproximadamente 13 km aguas abajo de Itá Ibaté (Corrientes) en el río Alto Paraná; nótese la combinación de depósitos de grandes bancos y dunas.



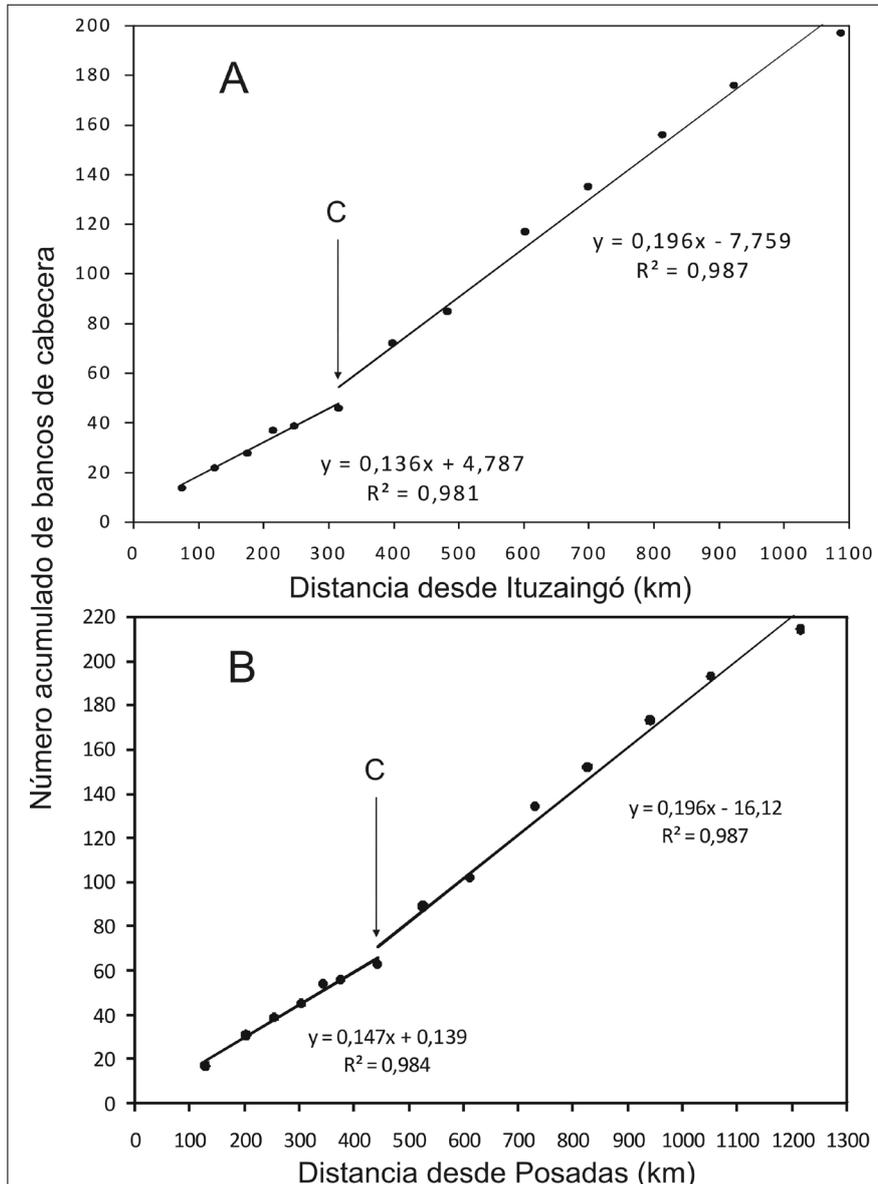
**Figura 5.** Distribución de los tres tipos de bancos más comunes en los diferentes sub-tramos examinados desde Ituzaingó (Provincia de Corrientes) hasta Villa Constitución (Provincia de Santa Fe). Los círculos llenos indican los porcentajes del número local de bancos de cabecera respecto del número total de este tipo de bancos a lo largo del tramo completo desde km 1455 a km 368 (km: kilómetros de cauce a lo largo de la ruta de navegación).

En la Figura 5 se presentan los números de los tres tipos de bancos registrados en los sub-tramos estudiados a lo largo del río Paraná entre Ituzaiingó y Villa Constitución. Los bancos de cabecera predominan en el 77% de esos sub-tramos. Los bancos de cola prevalecen en un 15% de ellos mientras que los de herradura son los menos frecuentes.

Las relaciones entre el número acumulado de bancos de cabecera y la distancia a lo largo del tramo analizado desde Ituzaiingó y Posadas junto con las

respectivas rectas de regresión, se muestran en Figura 6.

Se advierte la diferencia en las pendientes de las rectas de ajuste antes y después de la confluencia Paraná-Paraguay. Esa diferencia es estadísticamente significativa ( $p = 0,005$ ). Nótese, además, la similitud de las pendientes en el tramo superior (una diferencia de solamente el 8%) al incluir el sub-tramo Posadas-Ituzaiingó, con datos previos a la construcción de Yaciretá.



**Figura 6.** Número acumulado de bancos de cabecera a lo largo de los tramos de cauce analizados del río Paraná. A: entre Ituzaiingó (Corrientes) y Villa Constitución (Santa Fe); longitud: 1087 km. B: ente Posadas (Misiones) y Villa Constitución (Santa Fe); longitud: 1216 km. Nótese en ambos casos el quiebre de las rectas de ajuste en torno del punto C el cual indica la zona de confluencia de los ríos Paraná y Paraguay.

## Discusión

Recientemente Szupiany et al. (2012), sugieren que los depósitos aguas arriba de bancos e islas sería el resultado de la divergencia del escurrimiento debido a desplazamientos laterales del thalweg en esos sitios.

Según el grado de esos desplazamientos cantidades importantes de arena fina en suspensión pueden no acompañar al flujo y continúan siendo transportadas a las áreas de muy baja velocidad y tensiones de

corte frente a bancos e islas, lo cual promueve su progresiva sedimentación y el crecimiento aguas arriba de sus cabeceras mediante procesos cuya mecánica íntima debe ser aún investigada. La idea, adelantada por esos autores, está basada en mediciones detalladas aguas arriba de bifurcaciones de diverso tipo en el río Paraná, realizadas con tecnología Doppler acústica (ADCPs).

La relevancia de las partículas de fondo en suspensión en la evolución de los bancos de arena debe concebirse en relación con la de la carga de fondo. Esto es, si esta última aumenta su importancia debido a cambios en la capacidad de transporte del escurrimiento y/o engrosamiento de las partículas de arena del fondo, la frecuencia de crecimiento aguas arriba de bancos e islas disminuiría en relación con la de bancos de cola y herradura producto, en estos casos, de la deposición de la carga de fondo a través de conocidos mecanismos detallados en la literatura específica (v.g. Ashworth, 1996).

En el río Paraná la relación promedio arena en suspensión/carga de fondo ( $G_{ss}/G_{sf}$ ) es  $\approx 10,4$  en su tramo medio (Alarcón et al., 2003). Estos autores determinaron este valor aplicando fórmulas de transporte cuidadosamente calibradas con mediciones de ambos tipos de cargas. Si las mismas fórmulas se aplican en el Alto Paraná (tramo Itatí - Paso de la Patria) con valores medios de profundidades, pendientes, caudales y tamaños de sedimento de fondo (Nicholas et al., 2012), la relación se reduce a  $\approx 8,7$ . La elevada proporción de arena en suspensión con respecto a la transportada como carga de fondo, explicaría la predominancia de bancos de cabecera por sobre los otros dos tipos en todo el tramo atendiendo a los hallazgos mencionados de Szupiany et al (2012).

Por otro lado, la mayor importancia de la carga de fondo en el tramo superior (la relación  $G_{ss}/G_{sf}$  aumenta  $\approx 20\%$  en el tramo medio), estaría asociada a la tasa diferenciada de aparición de bancos de cabecera aguas abajo de Paso de la Patria. El punto de quiebre de ambas rectas de ajuste en el entorno de la confluencia Paraná-Paraguay (Figura 6), revela que la cantidad de bancos de cabecera se intensificaría en el tramo medio.

En Tabla 1 se presenta la composición del sedimento del lecho del río Paraná antes y luego de su confluencia con el río Paraguay la cual es compatible con la diferencia señalada en  $G_{ss}/G_{sf}$ .

Se advierte que el porcentaje de los granos más gruesos del lecho, normalmente transportados como carga de fondo en las condiciones del río Paraná, disminuye marcadamente (más de un 40%) en el tramo medio. Por el contrario, la proporción de arena fina crece cerca del 60% luego de la desembocadura del río Paraguay. La composición del fondo de este último curso en su tramo inferior, también incluida en Tabla 1, prueba su rol central en los aportes de

arenas finas y muy finas aguas abajo, las cuales constituyen parte preponderante de la carga de fondo en suspensión en el tramo medio (Latosinski et al., 2014).

**Tabla 1.-** Composición promedio del sedimento del lecho de los ríos Paraná y Paraguay (GMF: grava muy fina; AMG, AG, AM, AF, AMF: arena muy gruesa, gruesa, media, fina y muy fina, respectivamente; L: limo; a: arcilla). Fuente: Drago y Amsler, 1998 e INALI, 2010.

GMF+AMG+AG (%)	AM (%)	AF (%)	AMF (%)	L+a (%)
<b>Alto Paraná (tramo Posadas - Paso de la Patria)</b>				
21,6	57,0	17,7	2,6	1,1
<b>Paraná Medio e Inferior (tramo Corrientes - km 361)</b>				
12,3	55,6	28,2	2,1	1,8
<b>Río Paraguay Inferior (km 1349,5 - km 1298)</b>				
8,6	20,7	24,8	23,0	22,4

## CONCLUSIONES

Se ha verificado que los depósitos existentes en las caras de aguas arriba de bancos e islas de cauce predominan con respecto a otros tipos de bancos (de cola y en herradura), comunes en los tramos alto y medio del río Paraná. Ese predominio estaría asociado a las elevadas tasas de arena en suspensión con respecto a la transportada como carga de fondo, registradas para este río. Las diferencias en la relación entre ambos tipos de transporte existente antes y luego de la confluencia Paraná-Paraguay, explicaría la disparidad encontrada en la frecuencia de aparición de los bancos de cabecera en los tramos correspondientes que separa ese sitio.

## AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Instituto Nacional de Limnología (INALI - CONICET/UNL) por el apoyo logístico recibido que permitió el desarrollo de esta investigación. La experticia y dedicación del personal de campo del INALI fueron claves en ese apoyo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, J.J., R.N. Szupiany, M.D. Montagnini, H.E. Gaudin, H.H. Prendes & M.L. Amsler. 2003. Evaluación del transporte de sedimentos en el tramo medio del río Paraná. Primer Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos - RIOS 2003. Buenos Aires, Argentina (CD).
- Amsler, M.L. & H.H. Prendes. 2000. Transporte de sedimentos y procesos fluviales asociados, Tomo 1: pp. 233-306. En Paoli C. y M. Schreider (eds.). El Río Paraná en su Tramo Medio. Contribución al co-

- nocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura. Centro de Publicaciones de la Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.
- Ashworth, P.J. 1996. Mid-channel bar growth and its relationship to local flow strength and direction. *Earth Surface Processes and Landforms* 21: 103-123.
- Ashworth P.J., J.L. Best, J.E. Roden, C.S. Bristow & G.K. Klaassen. 2000. Morphological evolution and dynamics of a large, sand braid-bar, Jamuna River, Bangladesh. *Sedimentology* 47: 533-555.
- Best, J.L. & C.S. Bristow. 1993. Braided Rivers. Special Publications Geological Society, London, 419 p.
- Bridge, J.S. 2003. Rivers and Floodplains. Forms, Processes, and Sedimentary Record. Blackwell, 491 p.
- Coleman, J.M. 1969. Brahmaputra River: channel processes and sedimentation. Special Publications Geological Society 3: 129-239.
- Drago, E C. 1973. Caracterización de la llanura aluvial del Paraná Medio y de sus cuerpos de agua. *Boletim Paranaense de Geociencias* 31: 31-44.
- Drago, E.C. 1977. Erosión y sedimentación en un tramo de cauce del río Paraná Medio (República Argentina). *Asociación Geológica Argentina* 32: 277-290.
- Drago, E.C. 1990. Geomorphology of large alluvial rivers: Lower Paraguay and Middle Paraná. *Interciencia* 15: 378-387.
- Drago, E.C. & M.L. Amsler. 1998. Bed sediment characteristics in the Paraná and Paraguay Rivers. *Water International* 23: 174-183.
- INALI (Instituto Nacional de Limnología). 2010. Proyecto: Influencia de la variabilidad hidrodinámica y morfológica en ambientes acuáticos de la llanura aluvial del río Paraná Medio sobre la fauna bentónica y peces. Subsidio: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET - PIP No. 11220090100127). Período: 2010-2012.
- Latosinski, F.G., R.N. Szupiany, C.M. García, M. Guerrero & M.L. Amsler. 2014. Estimation of Concentration and Load of Suspended Sediment in a Large River by Means of Acoustic Doppler Technology. *Journal of Hydraulic Engineering* doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000859.
- Nicholas, A.P., S.D. Sandbach, P.J. Ashworth, M.L. Amsler, J.L. Best, R.J. Hardy, S.N. Lane, O. Orfeo, D.R. Parsons, A.J.H. Reesink, G.H. Sambrook Smith & R.N. Szupiany. 2012. Modelling hydrodynamics in the Río Paraná, Argentina: An evaluation and inter-comparison of reduced-complexity and physics-based models applied to a large sand-bed river. *Geomorphology* 169-170: 192-211.
- Popov, I.V., 1962, Application of morphological analysis to the evaluation of the general channel deformations of the River Ob: *Soviet Hydrol.*, v. 3, p. 267-324.
- Ramonell, C., M.L. Amsler & H. Toniolo. 2002. Shifting modes of the Paraná River thalweg in its middle-lower reach. *Zeitschrift für Geomorphologie* 129: 129-142.
- Sambrook Smith, G.H., P.J. Ashworth, J.L. Best, I.A. Lunt, O. Orfeo & D.R. Parsons. 2009. The sedimentology and alluvial architecture of a large braid bar, Río Paraná, Argentina. *Journal of Sedimentary Research* 79: 629-642.
- Schumm, S.A. 2005. River Variability and Complexity. Cambridge University Press: 220 p.
- Szupiany, R.N., M.L. Amsler, D.R. Parsons & J.L. Best. 2009. Morphology, flow structure, and suspended bed sediment transport at two large braid-bar confluences. *Water Resources Research* 45, W05415, doi: 10.1029/2008WR007428.
- Szupiany, R. N., M.L. Amsler, J. Hernandez, D.R. Parsons, J.L. Best, E. Fornari & A. Trento. 2012. Flow fields, bed shear stresses, and suspended bed sediment dynamics in bifurcations of a large river. *Water Resources Research* 48, W11515 doi:10.1029/2011WR011677.