

## **DISPARIDADES DE EVOLUCIÓN MORFOLÓGICA Y TRANSPORTE SEDIMENTARIO EN ENSANCHAMIENTOS SUCESIVOS DEL RÍO PARANÁ**

**M. S. Pereira, M. D. Montagnini, E. D. Cafaro, M. G. Gallego, J. Hernández  
y C. G. Ramonell**

Universidad Nacional del litoral, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Santa Fe, Argentina.

C.C. 217 - (3000) Santa Fe – Argentina.

Tel. (54) (342) 4575 233/ 44/ 46 - Internos 132 - 152 -153 . FAX (54) (342) 4575 224

E-mail: naciosol@yahoo.com.ar, danielamontagnini@yahoo.com.ar, egacafaro@yahoo.com.ar,

gallegomanu@yahoo.com.ar, xavierh86@hotmail.com, cgramonell@yahoo.com.ar

Web: <http://fich.unl.edu.ar/>

### **RESUMEN**

En este trabajo se analiza, desde varias perspectivas disciplinarias, la evolución geomorfológica reciente de un tramo del río Paraná Medio, que se extiende entre Curtiembre (Km 655) y Puerto Celina (km 629). El tramo comprende dos ensanchamientos sucesivos del río que fueron cambiando sus dimensiones, derivas de thalweg, desarrollo de islas, etc., hasta llegar a una configuración de ondas semejantes en la actualidad.

El motor de estos cambios ha sido el comportamiento tipo meandriforme del thalweg, regulado a su vez por la evolución del caudal morfológico del río. Dado que en ambos segmentos de cauce primó la expansión de las ondas descritas por el thalweg, que produjo el corrimiento de la margen más próxima, se generó de este modo el espacio para el desarrollo del área insular.

Se resalta la variedad y cantidad de elementos geomorfológicos detectados en las islas de ambos subtramos, lo que argumenta, per se, sobre la gran riqueza de hábitats ecológicos de estos subambientes de la planicie aluvial.

### **ABSTRACT**

From different disciplinary perspectives, this paper analyzes the recent geomorphic evolution of a reach of the Paraná Medio River, between Curtiembre (Km 655) and Puerto Celina (Km 629). The reach covers two successive enlargements of the river that have been changing in a different way from each other their dimensions, thalweg shift, bar and island development, etc., up to reaches similar morphologic configuration at present times.

The motor of these changes has been the meandering behavior of the river thalweg, regulated by the evolution of the morphologic or dominant discharges. The expansion of waves described by the thalweg, induces the displacement of the nearest margin, generating the necessary space to island development.

It is noticeable the diversity of geomorphic elements detected in the islands of both segments, which provides a strong argument for the heterogeneity of ecological habitats in these river environments.

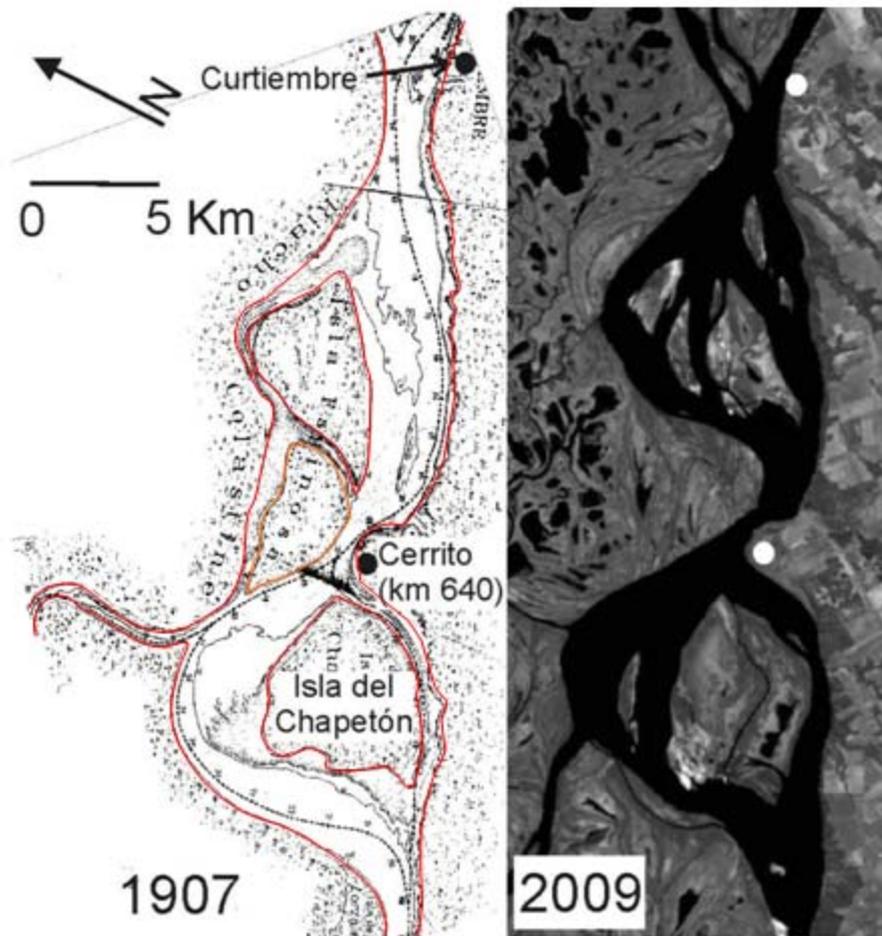
### **INTRODUCCIÓN. OBJETIVOS**

No es poco frecuente advertir en la literatura temática, que las diferencias en los ritmos de cambio geomorfológico en segmentos sucesivos de un río queden disimuladas por el uso de valores medios. Ramonell y otros (2000) presentaron resultados sobre tasas disímiles en la evolución morfológica de un tramo singular del río Paraná, tal cual es el que se extiende en torno a Cerrito (Figura 1), comprendiendo a los ensanchamientos del río (aguas abajo de) Curtiembre y el de isla Chapetón.

Ambos subtramos mantuvieron configuraciones morfológicas bien distintas durante la primera mitad del siglo XX, evolucionando hasta la condición de semejanza presentada en Fig. 1.

En este marco, nuestro trabajo da continuidad a los resultados mostrados por Ramonell y

otros (2000: 205-207) para el sector, enfocado esta vez desde una perspectiva no sólo morfológica del cauce, sino también geomorfológica, sedimentológica e hidráulica.



**Figura 1.-** Configuraciones del cauce principal del Paraná en torno al estrechamiento de Cerrito (distante 30 km al NE de la ciudad de Santa Fe), en 1907 y 2009.

## METODOLOGÍA

El análisis del tramo incluyó tareas de campo y gabinete; las primeras consistieron en el relevamiento geomorfológico y sedimentológico de islas y bancos de cauce (con la ejecución de perforaciones y registro de perfiles sedimentológicos en cortes naturales), y de mediciones batimétricas, aforos con ADCP y muestreos del material del lecho y en suspensión en secciones selectas del cauce.

En gabinete se realizaron interpretaciones y mensuras morfológicas sobre cartografía histórica de pequeña escala (lapso 1847 – 1946) e imágenes aéreas (1954 – actualidad), que se utilizaron también para confeccionar mapas comparativos y uno geomorfológico de detalle.

La capacidad de transporte del cauce principal del Paraná se obtuvo procesando información hidráulica y sedimentológica antecedente, conformada por un aforo líquido del cauce principal en cercanías de Pto. Curtiembre (procedente de AyEE, 1984), realizado en condiciones de aguas medias altas (de cauce lleno, específicamente); batimetrías de detalle de 1989 producidas por la Dirección Nacional de Vías Navegables, y del año 1999, relevadas por nuestra Facultad; valores estadísticos de muestras del lecho obtenidas en el 2000 por el equipo de trabajo; y aforos con perfilador acústico doppler (ADP) en secciones de control de

Curtiembre, Chapetón y cursos secundarios, relevadas en abril-mayo de 2009, en condiciones de aguas bajas.

Por otro lado, se realizaron mediciones de volúmenes del cauce sobre las batimetrías detalladas de 1989 y 1999.

Finalmente, se actualizaron valores próximos a los del caudal morfológico usando promedios quinquenales de caudales (datos de la sección de Corrientes de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación -SNRH, 2009-), los cuales se asemejan a los caudales efectivos obtenidos por Amsler y otros (2005).

## EVOLUCIÓN MORFOLÓGICA HISTÓRICA

Tal como lo propusieran Ramonell y otros (2000), la configuración en ondas del cauce como las de 2009 en Fig. 1 fue el resultado del incremento progresivo en amplitud de los meandros del thalweg hacia el noroeste, seguida del corrimiento de la margen derecha en igual sentido (Tabla 1).

**Tabla 1.-** Evolución del ancho máximo del río en los ensanchamientos aguas abajo de Curtiembre y zona de isla Chapetón. Actualizado de Ramonell y otros (2000).

Año	Ancho máximo Zona abajo de Curtiembre (m)	Ancho máximo Zona Isla Chapetón (m)
1908	2500	6650
1913	2500	6700
1918	2600	6650
1922	2600	6600
1943	3000	5700
1954	3470	5830
1974	4300	6300
1989	4950	6300
1993	5420	7240
1997	5670	7240
2001	5840	7320
2003	5830	7330
2007	5850	7400

Aquellos autores asociaron tales cambios a la evolución de los caudales morfológicos en el siglo XX.

Otras consecuencias de esos desplazamientos fueron la ampliación de las áreas del cauce y de las islas en cada subtramo, como se aprecia en Fig. 2. Allí se advierte la coincidencia entre la mayor tasa de expansión del área del cauce, en ambos subtramos, y el aumento progresivo del caudal medio entre las décadas del '50 y el '80. Sin embargo, el ritmo de ensanchamiento en Curtiembre para ese periodo fue un 25% mayor, a la par de estar allí más acentuado el rol de almacenaje de sedimentos en torno a las islas como se aprecia en las Figs. 3a y 3b. La tasa de crecimiento de islas en el último decenio en el ensanchamiento de Curtiembre fue de 30,5 ha/año, mientras que en torno a Chapetón fue de 10 ha/año, en ambos casos asociado a la disminución de los caudales morfológicos en ese período (Fig. 2).

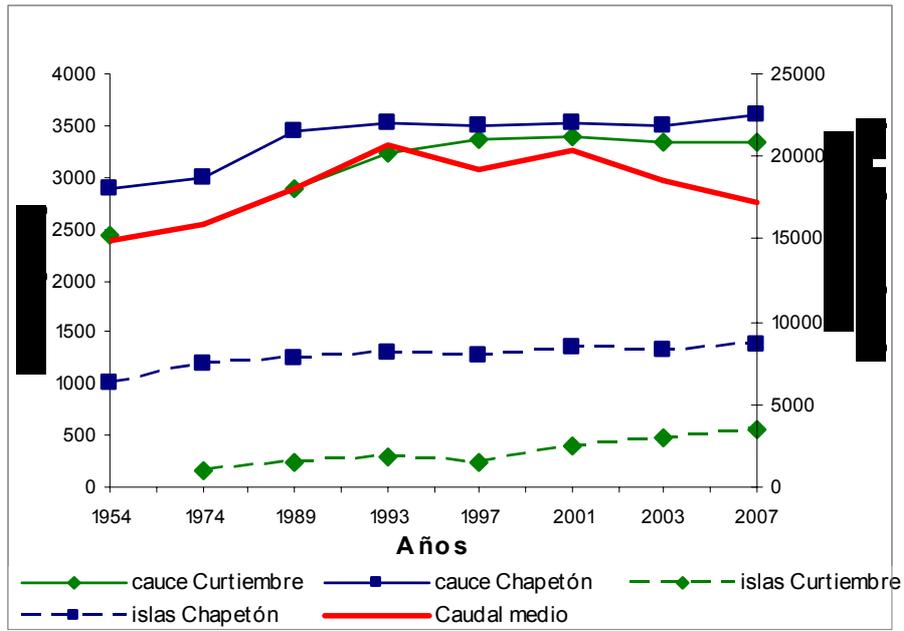


Figura 2.- Evolución de áreas en planta del cauce (sin islas) e islas en los subtramos de estudio para el lapso 1954-2007. Se agregó la línea de caudales medios quinquenales de Corrientes, como índice de los caudales morfológicos en el período.

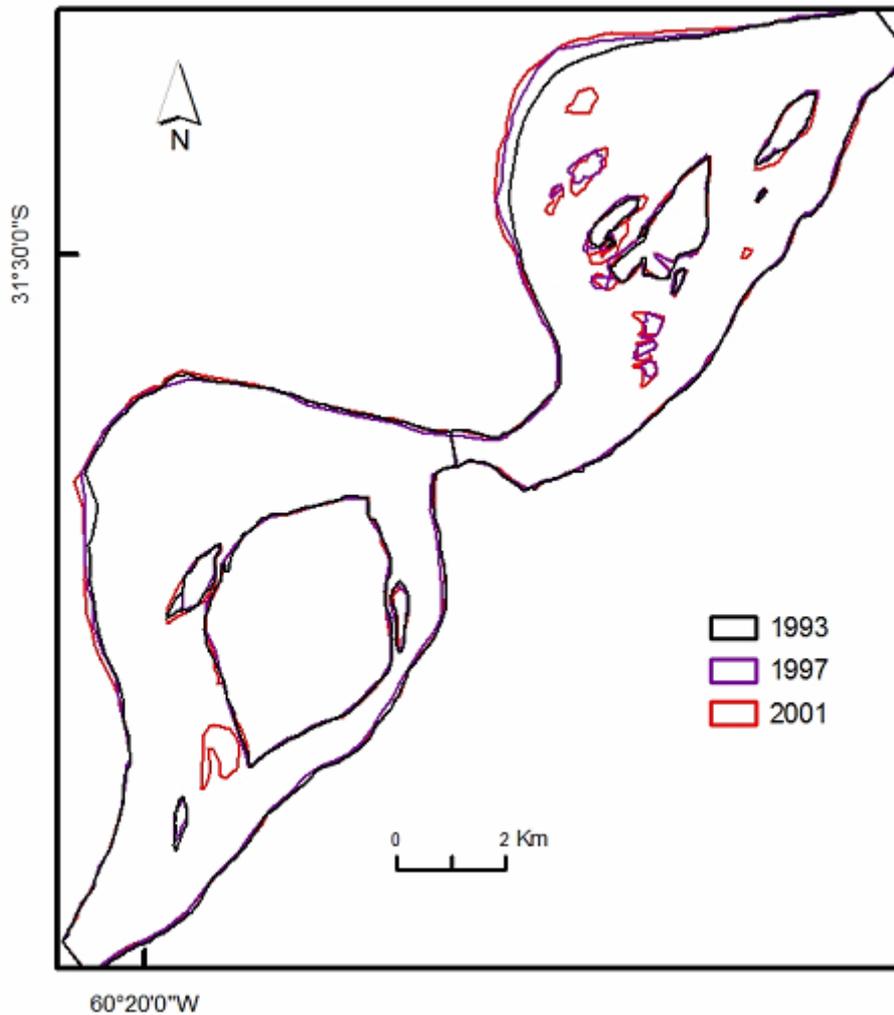
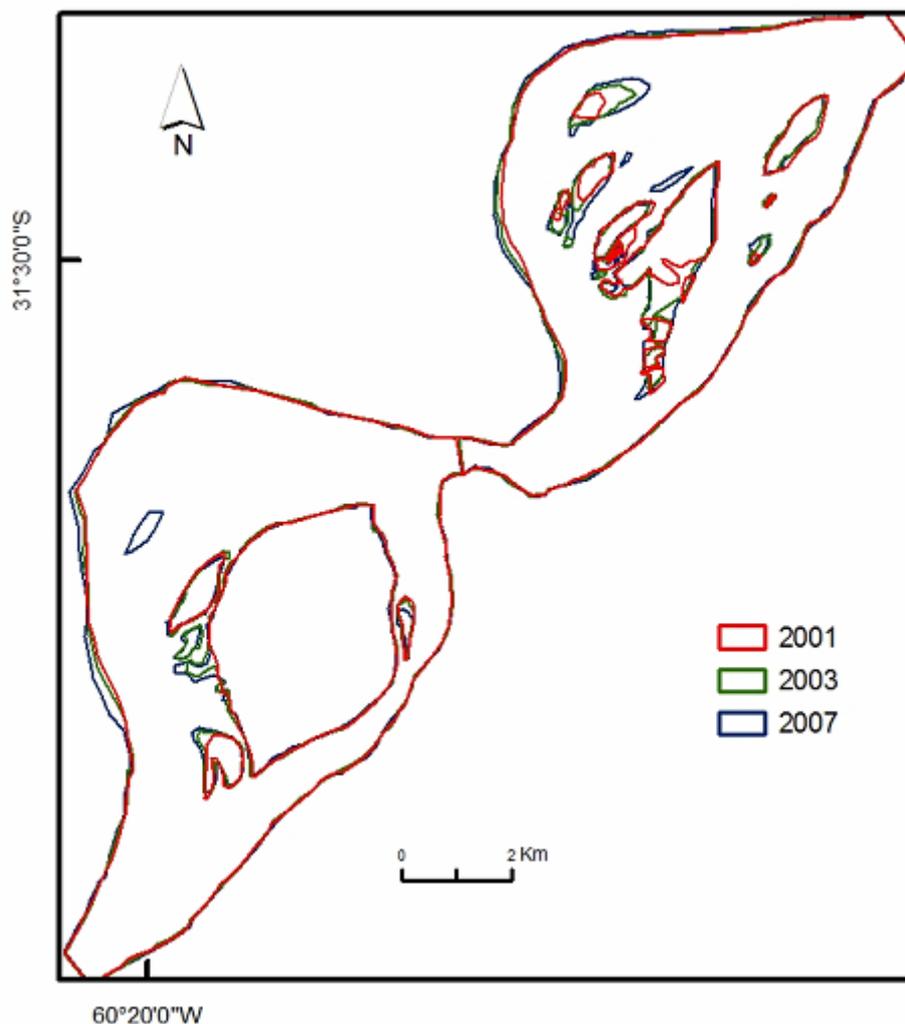


Figura 3a.- Evolución de islas y márgenes del cauce del tramo en estudio, entre 1933 y 2001.



**Figura 3b.-** Evolución de islas y márgenes del cauce del tramo en estudio, entre 2001 y 2007.

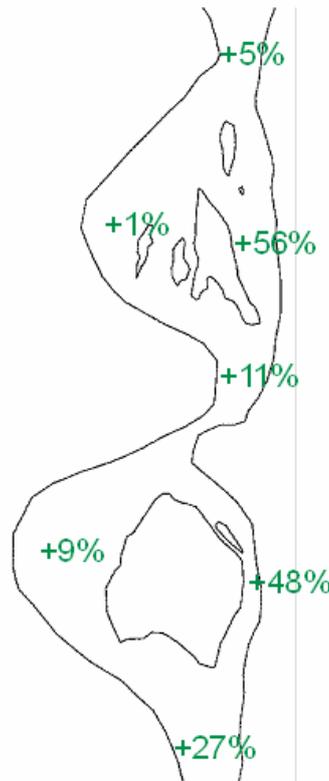
En Tabla 2 y Fig. 4 se muestran los resultados de las mediciones volumétricas del cauce realizadas sobre los planos batimétricos disponibles para los años 1989 y 1999. Allí se advierte que el mayor cambio de volumen se dio en los brazos izquierdos de ambos subtramos, con un aumento del 56 % en la zona aguas abajo de Curtiembre y de un 48% en la de Chapetón. A la vez, el brazo derecho del subtramo Curtiembre se mantuvo aproximadamente igual, mientras que el de Chapetón aumentó levemente en un 9%. En el caso de los segmentos de cauce único, se registraron incrementos progresivamente mayores siguiendo la dirección del escurrimiento.

Los brazos izquierdos en los dos ensanchamientos, se caracterizan por presentar una configuración recta, mayor pendiente y mayor profundidad media para una misma longitud, comparado con los brazos derechos que contienen el thalweg del río. Por lo tanto, esos brazos presentarían una menor resistencia al escurrimiento, y una mayor capacidad de respuesta ante aumentos de caudal al paso de crecientes, la que es beneficiada en parte por menores ingresos de sedimentos arenosos, que seguirían principalmente por la traza del thalweg y su entorno.

Esa última condición es favorecida en Chapetón por la saliente rocosa de Cerrito, que ejerce un direccionamiento del flujo hacia el brazo derecho

**Tabla 2.-** Volúmenes de cauce en los estrechamientos (cauce único) y ensanchamientos (cauce derecho e izquierdo) de Curtiembre y Chapetón para los años 1989 y 1999.

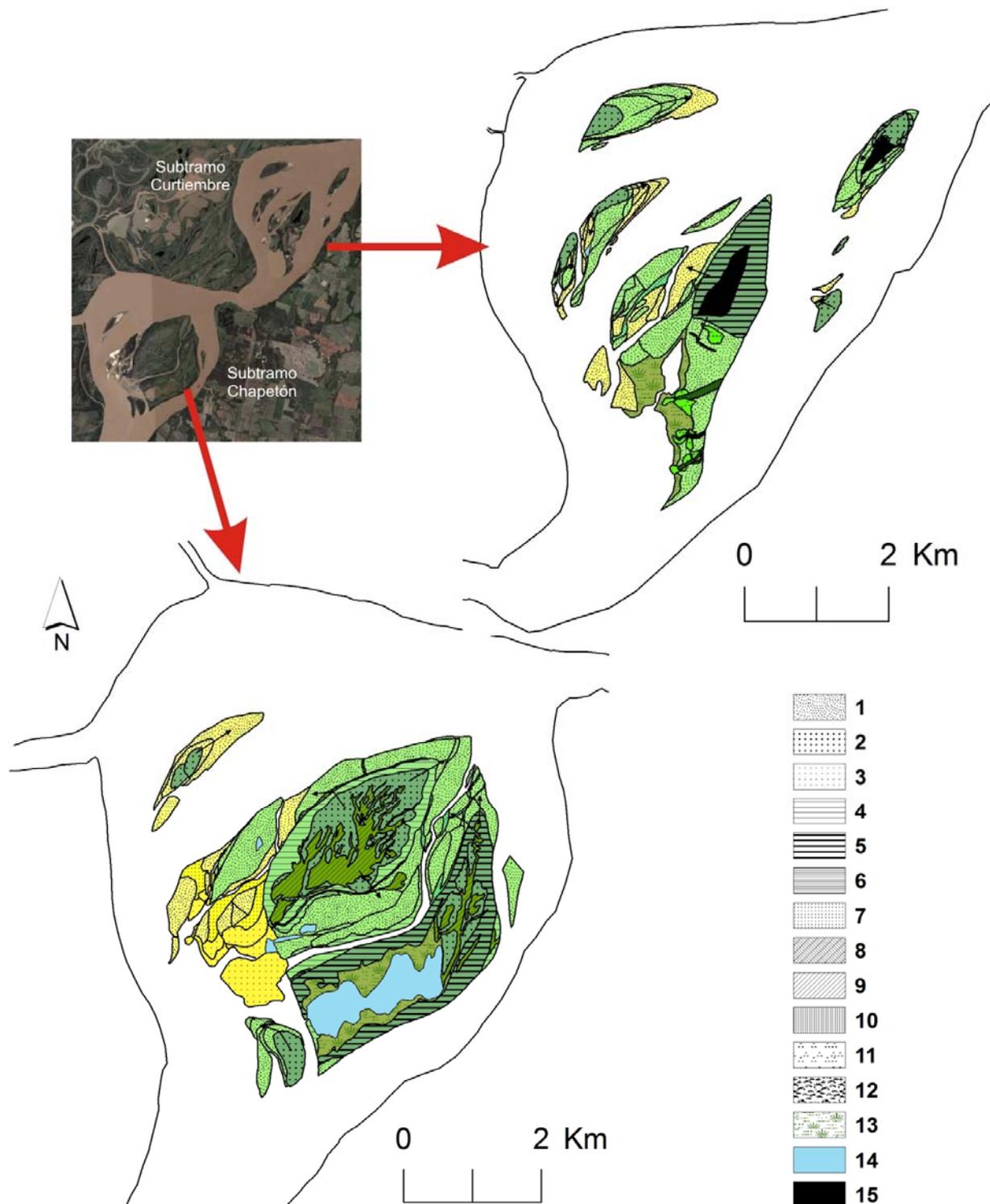
Segmento del cauce	Año	Cauce Derecho (Hm <sup>3</sup> )	Cauce Único (Hm <sup>3</sup> )	Cauce Izquierdo (Hm <sup>3</sup> )
Estrechamiento	1989		14,81	
	1999		15,59	
Ensanchamiento debajo de Curtiembre	1989	65,22	2,14	12,28
	1999	65,91	1,78	19,16
Estrechamiento (Cerrito)	1989		49,23	
	1999		54,79	
Ensanchamiento de Chapetón	1989	53,87		16,81
	1999	58,84		24,96
Estrechamiento (Pto. Celina)	1989		34,7	
	1999		43,97	

**Fig 4.-** Cambios volumétricos netos, en porcentajes, entre 1989 y 1999.

## GEOMORFOLOGÍA

La Fig. 5 contiene el mapa geomorfológico del área, en el que se aprecia la gran diversidad de elementos geomorfológicos que componen las islas del tramo, en las que predominan arealmente los bancos de cauce acrecionados en varias direcciones, y los albardones.

Siguiendo la propuesta de Pereira y otros (2009), esos conjuntos de islas corresponden a los tipos simples y compuestas. Las primeras se caracterizan por estar formadas principalmente por un solo elemento geomorfológico, que en el tramo se corresponden con un núcleo oval aguas arriba del cual se acrecionaron bancos cordoniformes que lo envuelven a modo de herradura, con trenes de dunas como formas menores características.



**Figura 5.-** Mapa geomorfológico de islas (tonos de verde) y bancos sin vegetación (tonos de amarillo) del tramo de estudio. 1-3: bancos (2: más antiguo del subtramo; 3: de desembocadura); 4-6: albardones (5: más ant. del subtramo; 6: subacuático); 7: cegamiento de canal; 8: canal cegado; 9: morfologías disipadas por inundación; 10: surco de desborde; 11: derrame; 12: bajo; 13: bañado; 14-15: lagunas (14: con sedimento en suspensión; 15: de agua clara). Las flechas representan las direcciones de acreción de los bancos de arena.

Por su parte, las islas compuestas poseen asociaciones de diferentes geoformas deposicionales, cuyos márgenes son concordantes con la traza en planta de ellas. En el tramo de estudio las islas compuestas se desarrollaron de un modo parecido al propuesto por Drago (1974: 283-284), aunque, más específicamente, se considera que la sedimentación habría ocurrido a partir de un núcleo original en forma de V (con vértice hacia aguas arriba), en torno al cual se adosaron bancos laterales y cuspidales; los primeros están separados entre sí

por canales menores, que suelen tener en sus extremos bancos de desembocadura. Aguas abajo de los núcleos en V hay bancos con geometrías diversas, originados posiblemente por efecto de sombra al escurrimiento, o de remanso incluso, en este caso impuesto por el brazo derecho (que contiene al thalweg) sobre el izquierdo, en el entorno de la confluencia.

Albardones, surcos de desborde y derrames asociados se disponen en el perímetro de las islas compuestas. Es de destacar, en este sentido, la presencia de surcos de desborde comunicando ambos brazos del cauce en el ensanchamiento de Curtiembre, ya que estos elementos son referidos en la literatura como rasgos propios de la planicie aluvial, y no de un cauce. La ubicación geográfica de estas geoformas pone en evidencia la existencia de escurrimientos transversales desde uno a otro brazo sobre las islas, lo que podría estar reflejando la existencia de diferencias de nivel entre los brazos que rodean a una isla durante las fases ascendentes de eventos de crecida.

En el mapa además se han marcado las direcciones de crecimiento de las islas, donde de forma general se determinaron las tasas de crecimientos en las diferentes direcciones. Las mayores tasas, del orden de los 130 m/año, se registraron en dirección hacia aguas abajo en las islas del subtramo de Curtiembre, mientras que las de crecimiento hacia aguas arriba dieron valores cercanos a los 90 m/año. La menor tasa de crecimiento se obtuvo en la isla compuesta Chapetón, tanto en sentido lateral como hacia aguas arriba, y fue de unos 20 m/año en promedio.

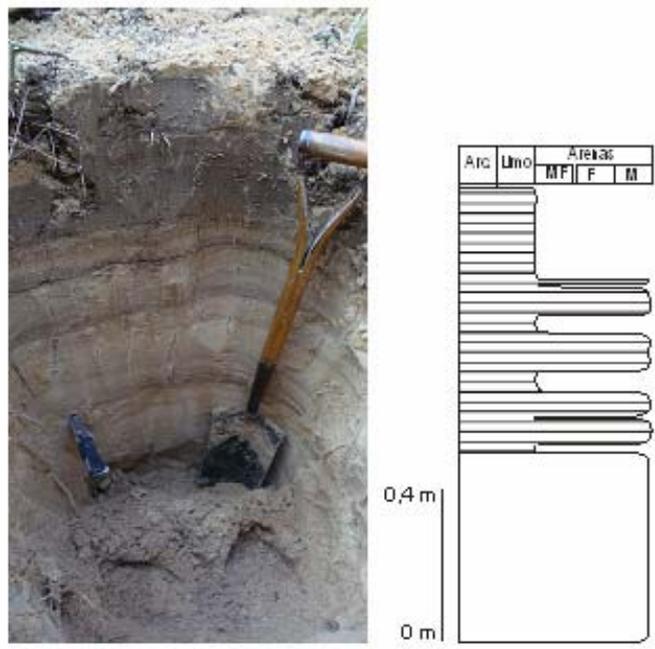
## SEDIMENTOLOGÍA

La granulometría absolutamente predominante en el tramo, tanto en el lecho como en el grueso del cuerpo de las islas, es la de arenas medias a finas, con arenas gruesas (y hasta guijas finas) en proporciones muy subordinadas.

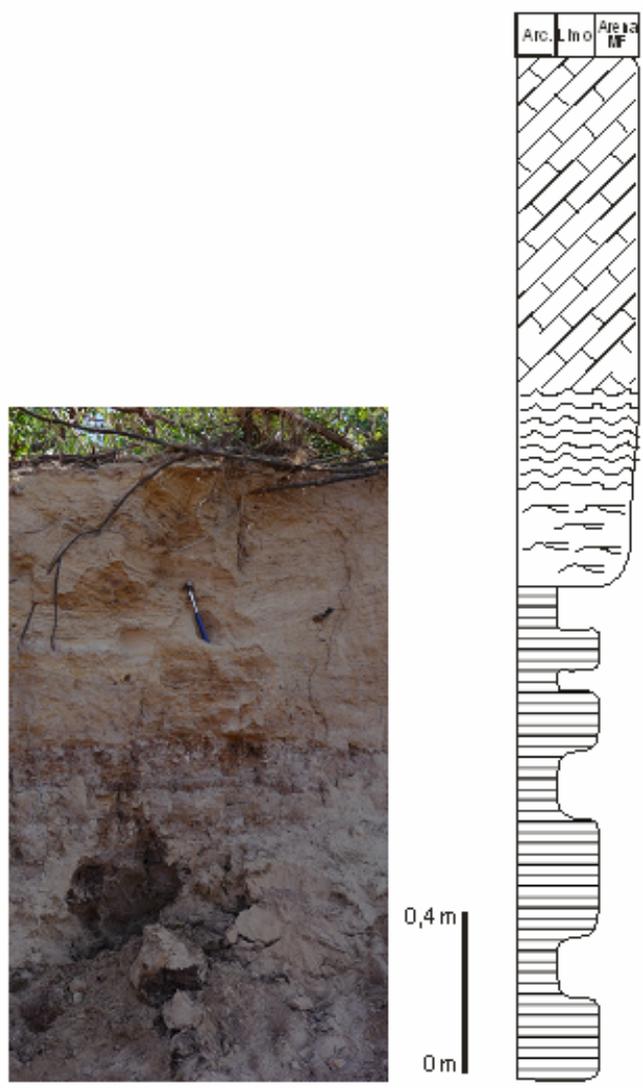
Superpuestos a esos tamaños se encuentran, en la isla, sedimentos finos y arenas finas y muy finas que formaban parte de la carga en suspensión, integrando cuerpos lenticulares y filiformes de hasta 3 m de espesor. Limos y arenas muy finas limosas predominan en estos cuerpos. Considerando la edad novel de parte de las islas, menor de 60 años para las del subtramo Curtiembre, las tasas de depositación de sedimentos finos llegan a superar localmente los 5 cm/año.

En las Figs. 6a-c se muestran tres perfiles sedimentológicos representativos de islas simples y compuestas en el tramo de estudio, visualizados en condiciones de aguas bajas. El primer perfil corresponde a un banco de acreción apical, donde los sedimentos predominantes son arenas medias, siendo muy bien seleccionadas en la parte inferior del corte y menos seleccionadas arriba, donde se intercalan con lentes de limo, que se vuelven dominantes en el tope de la secuencia. La estructura interna predominante es la plana paralela horizontal.

Las Figs. 6b y 6c exhiben perfiles característicos de una isla compuesta. En el primero se observa una secuencia sedimentaria de ambiente lacustre, compuesta en la base por capas limosas y limoarcillosas con laminación plana paralela horizontal, que infrayace a sedimentos de albardón, conformado por arenas muy finas con limos subordinados; óndulas comunes y ascendentes son las estructuras dominantes en esta parte de la secuencia. La otra columna sedimentaria (6c) corresponde a un relleno de canal, compuesto principalmente por arenas con estratificación entrecruzada a diferentes escalas, y capas de limos arenosos de estructura masiva.



**Figura 6a.-** Calicata en banco de crecimiento apical en una isla simple (estructuras de la base no preservadas).



**Figura 6b.-** Facies de albardón sobreimpuesta a sedimentos de ambiente lacustre en una isla compuesta.

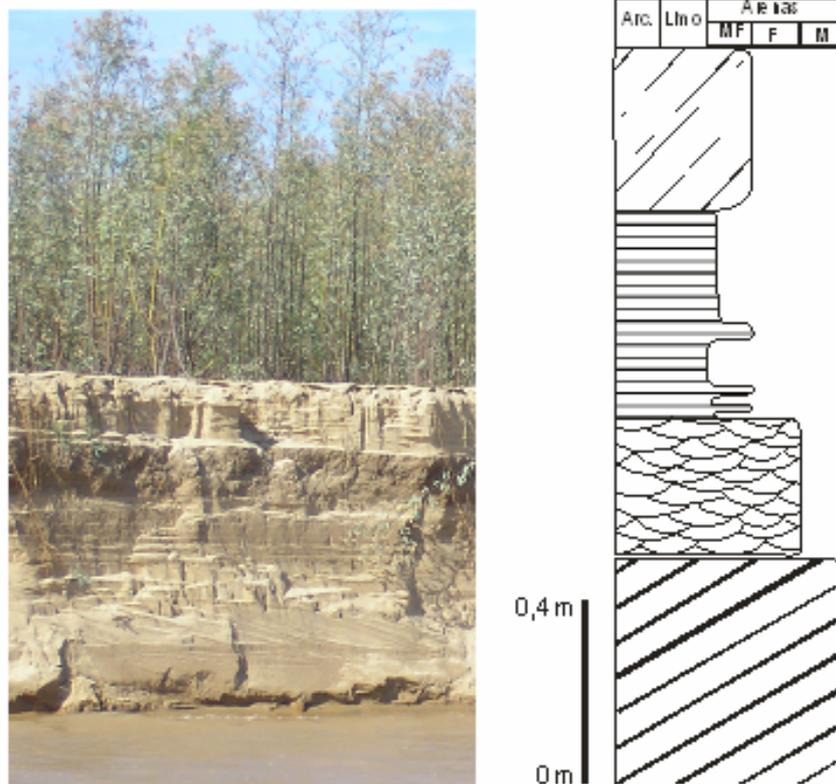


Figura 6c.- Secuencia sedimentaria de relleno de canal en una isla compuesta

El arreglo y tipo de facies sedimentarias en las islas de ambos ensanchamientos no parece ser diferente, aunque los depósitos de la parte oriental de Chapetón, a la sazón la más antigua de todas, evidencian ligeras características físicas afines a ello, por ejemplo, en el grado de compactación o consistencia del sedimento a una dada profundidad, o en la homogeneidad de la distribución de pigmentaciones férricas, etc.

### TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Las mayores desigualdades reconocidas en ambos subtramos con relación a los sedimentos devienen, no de sus características texturales, sino de la distribución en las cantidades en que las arenas son transportadas.

Su cómputo se realizó en una sucesión de pasos que se describe en lo que sigue: sobre la batimetría de 1989 se construyeron 25 secciones transversales distribuidas homogéneamente en los distintos segmentos morfológicos del cauce: ensanchamientos (curso dividido), y confluencias, estrechamientos y expansiones (cauce único). En las secciones de cauce dividido se procesaron brazo izquierdo y derecho por separado, atendiendo también a las situaciones particulares de salida o cruce de caudales desde ellos.

Para cada una de las secciones se calcularon las curvas de distribución transversal de caudales aplicando la expresión de Manning (que supone constante el factor  $I^{1/2}/n$  a lo ancho de la sección):

$$\%Q_k = \frac{(h_k)^{5/3} \Delta B_k}{\sum ((h_k)^{5/3} \Delta B_k)} \cdot 100 \tag{1}$$

Las distribuciones de caudales obtenidas fueron comparadas con las que se midieron con los aforos de 2009 en secciones equivalentes, verificándose una buena correlación.

Además, se aplicaron las expresiones de Toniolo (1999: en Amsler y otros, 2005), para determinar el ancho y caudal de la zona de thalweg, para ajustar sobre tales distribuciones el caudal erogado por el thalweg propiamente dicho ( $Q_t$ ), diferenciándolo de los que fluyen por las zonas aledañas a él. Las expresiones de referencia son:

En ensanchamientos (cauce dividido):

$$\frac{B_t}{h_0} = 1,1346 \left( \frac{B_0}{h_0} \right)^{0,8124} \quad r^2 = 0,774 \quad (2)$$

$$\frac{B_t}{h_t} = 1,0599 \left( \frac{B_0}{h_0} \right)^{0,6799} \quad r^2 = 0,799 \quad (3)$$

En confluencias, estrechamientos y expansiones (cauce único):

$$\frac{B_t}{h_0} = 0,1381 \left( \frac{B_0}{h_0} \right)^{1,1629} \quad r^2 = 0,865 \quad (4)$$

$$\frac{B_t}{h_t} = 0,0974 \left( \frac{B_0}{h_0} \right)^{1,0685} \quad r^2 = 0,819 \quad (5)$$

El transporte específico total de material de fondo,  $g_s$ , fue calculado con la fórmula de Engelund-Hansen (1967, ecuación (6)), dada su demostrada aplicabilidad en el río Paraná Medio (Amsler y Prendes, 2000; Alarcón y otros, 2003).

$$g_s = 0,05 \bar{U}^2 \gamma_s \tau_*^{1,5} \left( \frac{d_{50}}{(s-1)g} \right)^{0,5} \quad (6)$$

El valor de la tensión de corte adimensional total,  $\tau_*$ , se determinó con la expresión que la vincula con  $\tau'_*$  propuesta por Engelund y Fredsøe (1982), atendiendo a la verificación hecha oportunamente por Pujol y otros (1985).

$$\tau'_* = 0,06 + 0,4 \tau_*^2 \quad (7)$$

La tensión de corte adimensional debida al grano,  $\tau'_*$ , fue calculada mediante el método de Van Rijn (1993).

En el cálculo de transporte se aplicaron las expresiones (1) a (7) para la determinación de las variables hidráulicas, con la información sedimentológica disponible para los distintos tramos; el criterio de división de cada sección transversal considerada en subsecciones fue el siguiente:

- para las secciones de cauce dividido: zona de thalweg (de ancho  $B_t$ ) y áreas remanentes entre thalweg y márgenes, para el brazo derecho; y sección única para el brazo izquierdo;
- para las secciones de cauce único: zona de thalweg (de ancho  $B_t$ ) y áreas remanentes entre thalweg y márgenes.

Los valores de transporte de sedimentos en suspensión así calculados se consignan en Tabla 3.

**Tabla 3.-** Transporte total de arenas,  $G_s$ , calculados en los ensanchamientos de Curtiembre y Chapetón, discriminado por brazos del cauce principal (cálculo para la situación de 1989, en aguas medias)

Subtramo	$G_s$ brazo derecho (kg/s)	$G_s$ brazo izquierdo (kg/s)
Curtiembre	253,2	595,8
Chapetón	519,7	349,1

Se advierte la disparidad en capacidad de transporte que poseen los brazos que contienen al thalweg en cada subtramo (brazos derechos), que indicarían mayor eficiencia para la conducción de sedimentos del ensanchamiento de Chapetón respecto del de Curtiembre.

Ello puede vincularse, en una primera aproximación, con la variación de volúmenes presentada en Tabla 2 y Fig. 4: la menor capacidad de transporte del brazo derecho en Curtiembre tuvo como correlato la casi nula variación en volúmenes del cauce en este sector durante el decenio 1989 – 1999.

Al compararse con lo ocurrido en el resto del río en el tramo, puede inferirse un incremento relativo en los volúmenes de sedimentación del sector, en concordancia a lo que sugiere la depositación evidenciada en los comparativos de Fig. 3.

## CONCLUSIONES

Como se infiere del gráfico comparativo de Fig. 1 y se ha demostrado con los demás resultados obtenidos, los cambios en ambos subtramos no fueron homogéneos en magnitud, aunque sí en calidad, llegando a adoptar el de aguas abajo de Curtiembre un patrón general semejante al de Chapetón, luego de casi 50 años.

El control más relevante de los cambios en ese lapso ha sido la dinámica de divagación continua del thalweg, combinada con las variaciones en caudales morfológicos.

No existen en la actualidad diferencias relevantes entre ambos subtramos en los diversos aspectos que han sido analizados, salvo en el transporte de sedimentos por los brazos que comprenden al thalweg.

Ello se correlaciona positivamente con las variaciones en volúmenes de cauce medidas para el lapso 1989 – 1999, donde se destaca la capacidad de respuesta de los brazos izquierdos en ambos ensanchamientos, lo que estaría asociado a ser segmentos que reciben menos sedimentos, que siguen preferentemente la ruta de la faja del thalweg.

En ese sentido, son los brazos derechos los que han contribuido mayormente a la formación de las islas y bancos de cauce, con tasas de crecimiento hacia aguas arriba y abajo (respecto del escurrimiento) del orden de la centena de metros/año, y de pocas decenas de metros/año en sentido transversal al flujo, en adyacencias de islas individuales.

No obstante lo último, y debido a la dinámica del thalweg de ampliar las áreas de cauce por el incremento de sus amplitudes de onda, los complejos insulares en los ensanchamientos equivaldrían, simplificando la percepción, a los depósitos de “point bar” de los ríos meandriiformes ordinarios.

La singularidad morfodinámica del río Paraná en el tramo, que combina aspectos de cauce

entrelazado y meandriforme en la escala de uno de los grandes ríos del planeta, genera una variedad de elementos geomorfológicos en sus islas que es mucho más grande que la común de observar en cursos de menores dimensiones.

Esa diversidad de geoformas, por primera vez presentada en un mapa como el de la Fig. 5 para el tramo medio, argumenta, per se, sobre la riqueza de habitats ecológicos de estos subambientes de la planicie aluvial.

**Agradecimientos.** Este trabajo ha sido realizado en el marco del Proyecto CAI+D 09 “Análisis de procesos de construcción de la planicie aluvial en un gran río de llanura: el río Paraná en su tramo medio”, subsidiado por la Universidad Nacional del Litoral. Es parte también de una Beca de Posgrado de CONICET que posee uno de los autores (M.S.P.), en la temática de la génesis y morfodinámica de islas en el río Paraná Medio.

Un particular reconocimiento al Distrito Paraná Medio de la Dirección Nacional de Vías Navegables por facilitar el acceso a batimetrías históricas de la zona de estudio, y a la Municipalidad de Santa Fe, por colaborar logísticamente en la fase de los trabajos de campo.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$B_t$	ancho de thalweg
$B$	ancho de la sección de escurrimiento
$B_t$	profundidad media de la zona de thalweg
$B_0$	ancho de la sección referido a la isóbata de cota “0” del hidrómetro local
$d_{50}$	diámetro representativo del sedimento constitutivo del lecho, tomado conforme a las secciones consideradas y a las muestras disponibles.
$h_k$	profundidad media en cada faja considerada
$h_t$	profundidad media en la zona del thalweg
$h_0$	profundidad media de la sección de escurrimiento comprendida entre isóbatas de cota “0” del hidrómetro local; se obtiene como el cociente entre dicha sección y el ancho $B_0$
$g_s$	transporte específico total de material de fondo
$G_s$	transporte total de material de fondo en la sección de escurrimiento
$I$	pendiente de energía
$k$	subíndice que identifica las fajas de las secciones transversales obtenidas de la batimetría
$n$ :	coeficiente de rugosidad de Manning
$r^2$	coeficiente de correlación
$\bar{U}$	velocidad media del escurrimiento en cada subsección considerada para el cálculo.
$\gamma_s$	peso específico del material constitutivo de los sedimentos del lecho; en el caso del río Paraná, $\gamma_s = 2650 \text{ kg/m}^3$
$\Delta B_k$	ancho de cada faja considerada de la sección transversal
$\tau^*$	tensión de corte adimensional total
$\tau'^*$	tensión de corte adimensional asociada a la resistencia de grano
$\%Q_k$	caudal en la faja $k$ expresado porcentualmente respecto del caudal total en la sección

## BIBLIOGRAFÍA

**Alarcón, J.J., Szupiany, R., Montagnini, M.D., Gaudin, H.E., Prendes, H.H. y Amsler, M.L.** (2003). “Evaluación del transporte de sedimentos en el tramo medio del río Paraná”. *Primer Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos*. Ezeiza, Argentina. (En CD).

**Amsler, M.L. y Prendes, H.H.** (2000). “Transporte de sedimentos y procesos fluviales

asociados”. En: *‘El Río Paraná en su tramo medio. Una contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura’* (C. Paoli y M. Schreider, eds.), Tomo 1: 233-306. Centro de Publicaciones de la Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.

**Amsler, M.L., Ramonell, C.G. & Toniolo, H.** (2005). “Morphologic changes in the Paraná River channel (Argentina) in the light of the climate variability during the 20th century”. *Geomorphology*, 70: 257-278.

**Engelund, F. y Fredsøe, J.** (1982). *Sediment Ripples and Dunes*. Ann. Rev. Fluid Mech. 14, pp. 13-37.

**Pereira, M.S., Ramonell, C.G., Latrubesse, E.M. y Cafaro, E.D.** (2009). “Geomorfología y sedimentología de islas simples y compuestas del río Paraná en su tramo medio”. Actas del *IV Congr. Arg. de Cuaternario y Geomorfología, Res.* La Plata, Argentina.

**Pujol, A.; Amsler, M.L.; Sabatier, M.A. y Gaudin, H.E.** (1985). “Verificación de tres predictores Q/H en el río Paraná”. *Actas XII Congreso Nacional del Agua*. Mendoza, Argentina.

**Ramonell, C.G., Amsler, M.L. y Toniolo, H.** (2000). “Geomorfología del cauce principal”. En: *‘El Río Paraná en su tramo medio. Una contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura’* (C. Paoli y M. Schreider, eds.), Tomo 1: 173-232. Centro de Publicaciones de la Univ. Nac. del Litoral. Santa Fe, Argentina.

SNRH (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación) (2009). "Sistema Nacional de Información Hídrica". En: <http://www.hidricosargentina.gov.ar/InformacionHidrica.html>

**Van Rijn, L.C.** (1993). *Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas*. Aqua Publications. Ruinen, The Netherlands.