

GEOMORFOLOGÍA DEL RÍO PARANÁ EN EL ÁREA DE LAS CIUDADES DE RESISTENCIA Y CORRIENTES

Manuel Rayano

Dir. de trabajo: Fac. de Ingeniería, Las Heras 721, Resistencia, Chaco

TE 433284. E-mail: manuel_rayano@yahoo.es

RESUMEN

En el trabajo se analiza la evolución morfológica ocurrida en el área (km 1208-1180 del canal de navegación, Hidrografía Naval, Armada Argentina) en el período (1937-2003), y se elaboran hipótesis sobre los fenómenos físicos involucrados en su estabilidad, trazado y dinámica, con base en su comportamiento anterior ante la interferencia que produce el actual puente Chaco-Corrientes, así como se pretende analizar el comportamiento futuro que producirá el puente proyectado a la altura del km 1195.

Se observaron en el período analizado procesos de sedimentación hasta 1970 aproximadamente, y procesos erosivos desde entonces, así como una gradual disminución de la sinuosidad. Han sido observado cambios de margen del thalweg en la sección Corrientes y en la del actual puente, y se ha identificado una macroforma en el ensanchamiento aguas abajo de la ciudad de Corrientes, en formación ya desde 1937, durante un ciclo de caudales dominantes elevados. Luego fue lentamente desplazándose aguas abajo abrazando la isla de la Palomera en la forma de dos grandes lóbulos, en especial bajo la presión de la creciente de 1983.

ABSTRACT

In the work the morphological evolution is analyzed, in the area (km 1208-1180 of the sailing channel, Hidrografía Naval, Armada Argentina) in the period (1937-2003), and hypothesis is elaborated on the physical phenomena involved in its stability, layout and dynamics, with base in its previous behavior, the interference that produces the current bridge Chaco-Corrientes, as well as the future behavior that will produce the bridge projected to the height of the km 1195.

They were observed in the period analyzed sedimentation processes up to 1970 approximately, and erosive processes from then on, as well as a gradual decrease of the sinuosity. Changes of margin of the thalweg have been observed in the section Corrientes and in that of the current bridge, and identified to macroform in the expansion river downstream of the Corrientes city, in formation already in the first third of last century, when to cycle of high dominant flows was presented. Then it was moving slowly downstream hugging the island of the Palomera in the form of two big lobes, especially under the pressure of the 1983 large flood.

INTRODUCCIÓN

El Paraná es uno de los grandes ríos del mundo y el más importante de la República Argentina. Su cuenca abarca la región más desarrollada e industrializada de Brasil y Argentina, y en ella residen aproximadamente el 50% de la población conjunta de los países que la integran y se produce el 60% de su producto bruto. En tal vital región geográfica se ubica la zona de estudio, hacia el nordeste de la Argentina.

La región nordeste argentina es una zona poco desarrollada, con graves problemas económicos sociales, que necesita imperiosamente de vías de comunicación para aprovechar el flujo comercial del mercado regional interno y regional internacional (Mercosur). El puente proyectado en la zona de estudio servirá no sólo de reemplazo al actual, próximo a la saturación, sino que además posibilitará la interconexión ferroviaria, hoy inexistente, previéndose también la construcción de un nuevo puerto con mejor ubicación y accesos que los actuales (Barranqueras y Corrientes), así como una estación de transferencia de cargas.

Sin embargo, el carácter “indomable” del Paraná dificulta la concreción de la obra, por tratarse de uno de los ríos más caudalosos del mundo, con numerosos cambios de ubicación de su canal principal e islas, que en su continua divagación y desplazamiento provocan un desafío permanente para quienes deben transitarlo o convivir con él. Sus crecientes son especialmente temibles, dado que invaden la planicie de margen derecha (chaqueña) con frecuencia, y más frecuentemente aún desde 1966, bajo el efecto del cambio climático global y del impacto ambiental producido por la deforestación, urbanización, industrialización y explotación minera de vastas áreas de la cuenca.

ZONA DE ESTUDIO

Para este trabajo se determinó como área de estudio a la comprendida entre los kilómetros 1.180 y 1.208 (zona entre el extremo aguas abajo de la isla De La Palomera y el actual puente Gral. Belgrano, frente a la ciudad de Corrientes, kilometraje señalado por el Servicio de Hidrología Naval, Armada Argentina, 1968, de la ruta de navegación del cauce principal, **Figura 1**).

Corresponde a un tramo con islas (Santa Rosa, Chouí, Noguera, Calia, Cabral I, De la Palomera, y algunos islotes en la desembocadura del río Riachuelo por margen izquierda), donde el río se divide en dos brazos, siendo el brazo principal el que corre por margen derecha o costa chaqueña. La extensión máxima de la zona, incluyendo islas, es de unos 23 km de norte a sur por unos 9 km de oeste a este.

Se la ha delimitado considerando que tanto aguas arriba como aguas abajo siguen tramos del río que tienen comportamientos morfológicos diferenciados, y que por lo tanto en el área elegida se encontrarían gran parte de las respuestas a las hipótesis planteadas respecto al comportamiento del río ante la obra a realizarse (el nuevo puente). Se trata, además, de una zona poco estudiada, de la cual se tienen datos disponibles, y geomorfológicamente compleja. El hecho de que abarque tanto un estrechamiento (parcialmente, sección Corrientes) como un ensanchamiento aguas abajo, permitiría considerarla como un unidad de erosión-sedimentación. La ubicación central del puente dentro de ella es otro motivo clave para tal elección.

En el trabajo se pretende analizar la interferencia que el puente a construirse a la latitud de

Colonia Tacuarí (km 1.195 del canal de navegación) tendrá sobre el río, partiendo del estudio de las implicancias geomorfológicas que produjo el actual puente

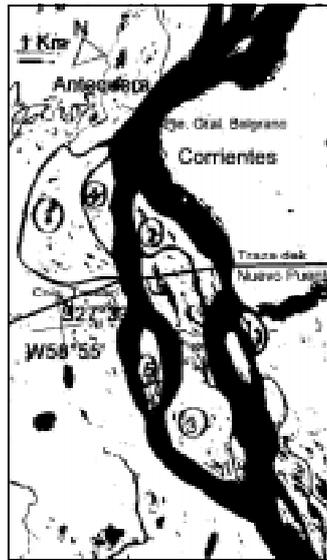


Figura 1 Zona de estudio.

Referencias: 1) Isla Sta. Rosa; 2) Isla Noguera; 3) Isla de la Palomera; 4) Isla Chouí; 5) Isla Calia

El puente Gral. Belgrano tiene una destacada importancia socio-económica en la región, por cuanto no sólo permite el tráfico comercial entre las provincias de Chaco y Corrientes, sino que además es lugar de paso (nodo) de un importante tránsito de camiones (originados por el Mercado Común del Sur, Mercosur) que hacen el trayecto Buenos Aires-Iquique (Chile) o Buenos Aires- Bolivia, a lo que se suma el tráfico comercial desde los puertos del Atlántico, con trayectos de ida y vuelta desde las más importantes ciudades del sur de Brasil hacia los destinos mencionados.

Construido a fines de la década del '60, desde entonces desempeña una indelegable función, no existiendo aún vías alternativas cercanas (la más inmediata es el Túnel Subfluvial Paraná-Santa Fe, a más de 500 km aguas abajo). Sin embargo se encuentra próximo a la saturación (cuenta con solamente dos trochas) en algunos horarios, por lo que se ha proyectado un nuevo puente ferrovial que lo complemente.

Considerando la óptica vial y ferroviaria se ha optado por una traza que une las rutas nacionales 11 (del lado chaqueño) y 12 (del lado correntino) evitando el paso por los centros urbanos. Tiene la ventaja respecto a la del actual puente General Belgrano de ser una vía más directa, pero en cambio presenta complicaciones en su intersección con el río Paraná, particularmente inestable por ser un río con un caudal muy importante (módulo: 19.537 m³/s, período 1971-'97) con patrón trenzado.

METODOLOGÍA EMPLEADA

Para analizar la evolución geomorfológica del tramo se han encarado los siguientes aspectos visualizados como determinantes:

- a) Evolución del caudal dominante y sus efectos en la morfología

- b) Comportamiento del thalweg y modos de divagación
- c) Geomorfología del sistema fluvial. Tipo de trazado del río en el tramo

Para ello se analizaron algunos de estos tópicos en forma conjunta, partiendo de la información de base recopilada (fotografías aéreas, imágenes satelitales y batimetrías), con una posterior discusión y presentación de conclusiones.

INFORMACIÓN DE BASE

Se utilizaron imágenes LandSat 7 a falso color (RGV 3, 4 y 5) de enero de 1994, marzo de 1997, mayo de 1995 y LandSat 5 de marzo de 2000 y de marzo de 2002 (esta última provista por la CONAE (Comisión Nacional de Aeronáutica y el Espacio de la República Argentina), así como fotografías aéreas de 1958 y 1972 (IGM, escalas 1:50.000 y 1:75.000 respectivamente).

Se complementó con batimetrías de la zona realizadas por la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables Distrito Paraná Superior, correspondientes a los años 1937 (1964, 1971, 1981, 1983 y 2001, escala 1:10.000), con profundidades referidas al cero del hidrómetro de Corrientes, a 41,40 m s.n.m. según escala propia del IGM y AAy EE (Instituto Geográfico Militar y Agua y Energía Eléctrica de la Nación). A partir de 1981 realizadas con sonda ecógrafa.

Se utilizaron además como apoyo batimetrías de 1990 y 1995 (km 1208-1190) zona de embocadura del riacho Barranqueras (Evarsa, 1995), y perfiles de la sección del puente (Inspección de Obras del puente General Belgrano, 1970, 71, 75, 82 y 83).

EL CAUDAL DOMINANTE

No es aquel evento máximo que transporta mayor carga sólida, sino que en general será uno menor pero que se presenta en forma más frecuente, incidiendo en forma gradual acumulativa. El criterio de Schaffernak (1950) lo determina como el producto de la carga sólida por la frecuencia de paso del caudal delimitado.

Toniolo (1999) calculó los caudales dominantes para la sección Corrientes, empleando el método de Schaffernak y la fórmula de Engelund-Hansen para la carga material de fondo. Se ajustaron las funciones altura hidrométrica (H_{pc}) versus área transversal, y H_{pc} vs. profundidad media (h).

Para cada caudal medio en que se dividieron los subperíodos de la serie completa se determinaron A (área) y h correspondientes al caudal, utilizando, además, la ecuación de continuidad y la curva de descarga. Con el predictor de Fedele (1995) del valor n (rugosidad de Manning) se ajustaron pares de valores de n vs. h , utilizados para calcular la pendiente (despejando de la ecuación de Manning).

Los caudales dominantes determinados de esta forma para la sección Corrientes (1904-1990) fueron los siguientes: 18.489 m³/s para el período 1904-´20, 21550 m³/s (1920-´31); 15.424 (1932-´69); 18315 m³/s (1970-´80) y 24.467 m³/s para el período 1981-´90.

Estos valores resultan entre un 9 y un 19% superiores a los caudales medios, aunque en algunos casos son prácticamente coincidentes (período 1932-69).

Los efectos del caudal dominante sobre la morfología serían, por su persistencia, de mayor consecuencia aún que los caudales extraordinarios de las grandes crecientes (de escasa frecuencia o recurrencia) que transportan grandes caudales líquidos y sólidos y que producen grandes cambios, pero cuya perdurabilidad es reducida relativamente, ante el accionar tenaz y continuo del caudal dominante.

THALWEG

Se denomina así a la línea que une los puntos de máxima profundidad del cauce, indicando el “camino de las aguas” por donde escurren los mayores caudales específicos.

Es de importancia morfológica por cuanto indica el eje principal por donde se transporta la mayor cantidad de sedimentos, influyendo sobre las corrientes secundarias helicoidales. Las mayores profundidades están relacionadas con las máximas curvaturas del thalweg, así como la pendiente de fondo. En un río trezado, además, se debe tener en cuenta que los múltiples thalwegs divagan formando hoyas muy profundas donde intersectan (confluencias), y zonas superficiales donde divergen.

Adquiere mayor importancia aún si se considera que se ha clasificado al Paraná como de “thalweg meandriforme”, enfatizando su ondulación, cuyas dimensiones (longitud de onda y radio de curvatura) sería proporcional a su ancho.

Si bien en el río Paraná puede en general reconocerse un thalweg único, bien definido, divagante, que llega a concentrar una gran parte del caudal total, en los ensanchamientos se producen numerosas bifurcaciones y discontinuidades, debido al flujo desacelerado divergente (como sucedió en la zona de estudio en 1971, cuando se encontraban dos canales profundos compitiendo entre sí). La depresión media del thalweg es de unos 4 m debajo de las profundidades medias, aunque sus profundidades máximas alcanzan los 25 metros.

Amsler *et al.*, 1998, han presentado una relación entre el ancho y la profundidad (Bt/ht) en el thalweg, versus el ancho y la profundidad media totales del cauce referidas a los hidrómetros locales. Ha dado valores diferentes para los estrechamientos que para los tramos anchos del río, indicando su comportamiento diferenciado.

$$Bt/ht = 1,0599 (Bo/ho)^{0,6199} \quad (\text{válida para ensanchamientos})$$

$$Bt/ht = 0,0974 (Bo/ho)^{1,0685} \quad (\text{para estrechamientos solamente})$$

$$Qt = 3,2472 \cdot Q^{0,8046}$$

Para un caudal medio de 19.537 m³/s (años 1971-97) se tiene un caudal en el thalweg:

$$Qt = 9.203 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ lo que representa el 47\% del módulo anterior.}$$

Se puede determinar el ancho y profundidad correspondiente a este caudal aplicando el método de Chang (1998; Método de la mínima potencia del flujo por unidad de longitud del cauce), que predice aceptablemente estas características para una corriente como la del Paraná (Toniolo, 1999), como también criterios basados en el principio de la Máxima Eficiencia en el Transporte Sólido (principio METS, Farías, 1996). La aplicación de estos criterios al caudal del thalweg obtenido (9.203 m³/s) da valores de ancho variables entre 450 y 540 metros, y profundidades entre 12 y 14 metros.

La relación entre el radio de curvatura y el ancho del canal (rc/b) puede servir para determinar

cuándo el thalweg se acercará a una posición estable. Se estima que cuando rc/b está entre 2 y 3 se logra una conformación estable (Leopold *et al.*, 1964), mientras que si está entre 3 y 10 deben esperarse fuertes erosiones de márgenes. Observaciones en el río indican que valores mayores a 10 también son estables, con mínimos desplazamientos laterales (Morbidoni *et al.*, 2000).

La tendencia en la zona de estudio parece ser la de buscar valores mayores a 10, considerando el ancho del thalweg $Bt=495m$. (**Cuadro 6.1**).

Cuadro 1. Relaciones curvatura/ancho en zona de isla Noguera

Año	b	rc	rc/Bt
1937	1390	4240	8,56
1958	1446	4500	9,0
1971	1410	4200	8.50
1983	1466	6800	13,70
2002	1420	14700	27,20

Fuente: Batimetrías D.N.C.P. y V.N. ($Bt=495m$).

La divagación del thalweg indica una disminución de la sinuosidad en todo el período analizado (1937-2003 (**Cuadro y Fig. 2**).

Cuadro 2. Sinuosidad del thalweg en la zona de estudio (1937-2003)

Año	Pt
1937	1,32
1971	1,31
1983	1,15
2003	1,10

Fuente: Batimetrías DNCP y VN

La evolución de la profundidad máxima del thalweg se puede observar en la **Fig. 2** La influencia morfológica de la creciente de 1983 (profundidad máxima con relación a la superficie libre del agua: 25,26 m) es manifiesta, respecto a la de 1998.

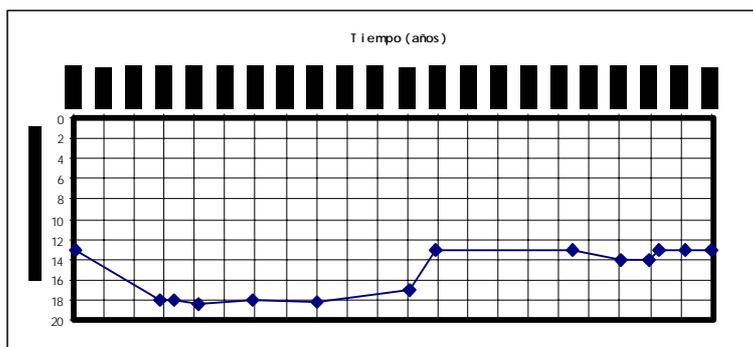


Figura 2. Evolución profundidad máxima thalweg en Corrientes.- Fuente: Datos Evarsa. Valores al cero del hidrómetro de Corrientes.

Así como se ha seguido su alejamiento de margen derecha en el km 1.195, donde se ubica la traza del futuro puente Chaco-Corrientes (**Cuadro 3**).

GEOMORFOLOGÍA DEL SISTEMA FLUVIAL

Se utilizaron como base los estudios geomorfológicos del tramo realizados por Orfeo, 1995 a. Se adoptó la división de llanura de inundación (ocupada durante los desbordes fluviales de las

crecientes) en dos niveles, propuesta por Orfeo (1996 c), en llanura proximal (más próxima al cauce principal, inundable con las crecientes ordinarias) y llanura distal (sujeta a inundación por crecientes extraordinarias).

Cuadro 3. Distancias thalweg a margen derecha en el Km 1.195

Distancia (m)	Batimetría año
4.570	1937
1.470	1971
0	1983

Fuente: Datos DNCP y VN

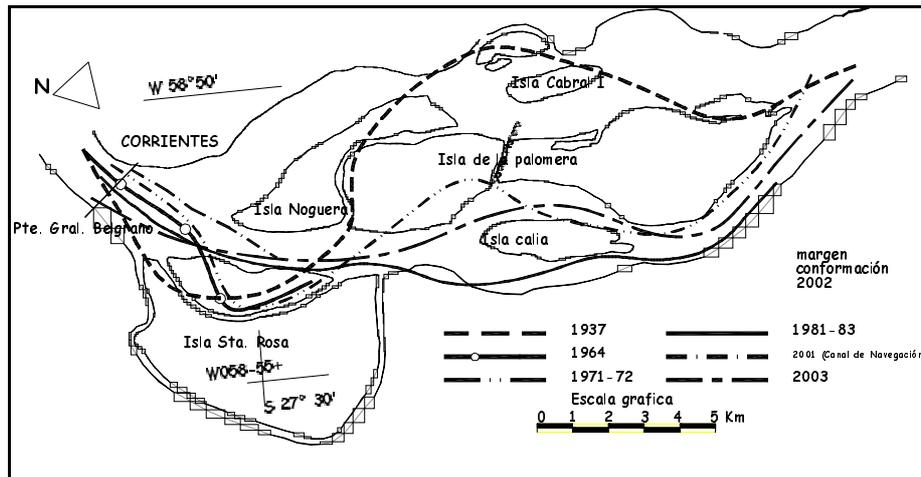


Figura 3. Evolución del thalweg en la zona de estudio

En frente a la ciudad de Corrientes el río (estrechamiento o punto de control) tiene un ancho de unos 1450 m que se ha mantenido sin mayores variaciones al menos desde 1958 (Gustin, 1995). La causa posible de esta singular morfología reside en la resistencia ofrecida por control litológico y/o estructural (Orfeo, 1995 a). La protección de las obras realizadas en la costanera correntina coadyuva a mantenerla.

La constante divagación del río altera la conformación de las islas, que también sufren su acción. La zona de estudio abarca una compleja zona inmediata aguas abajo al estrechamiento del puente actual Chaco-Corrientes, donde el río deposita la carga que no puede transportar. Tiene numerosas islas y bifurcaciones, y está sujeta a constantes y rápidos cambios durante las mayores crecientes.

En la zona de estudio los desplazamientos son constantes, en especial en la zona frente a la ciudad de Corrientes. En 1971 aproximadamente el thalweg pasó de margen izquierda a derecha, desde la isla De la Palomera aguas abajo. Registros históricos indican que el thalweg iba por margen izquierda o correntina a fines del siglo antepasado y a comienzos del siglo pasado (batimetrías de 1847 y 1881, carta de navegación de 1876) (Huerta, 2001, Seelstrang, 1977, **Figura 4**).

La formación de islas y bancos en la zona de estudio es incesante (islotos frente a la isla Noguera en 1958-72; isla Chouí en 1994; avance de la punta de la isla Santa Rosa y modificación del brazo de entrada del riacho Barranqueras en 1972-2002; creación de un banco aguas arriba de la isla Noguera en 2001 obligando a un nuevo desplazamiento del canal de navegación).

Desde los '70 debido a los mayores caudales dominantes prevalecieron procesos de erosión, de rápidos desplazamientos de islas hacia aguas abajo e incrementos en la sinuosidad, siendo que todavía no se alcanzan valores de equilibrio. La tendencia en muchos sectores del río y de la zona de estudio, pareciera ser la de reproducir valores morfológicos similares a los del primer tercio del siglo (Evarsa, 1995).

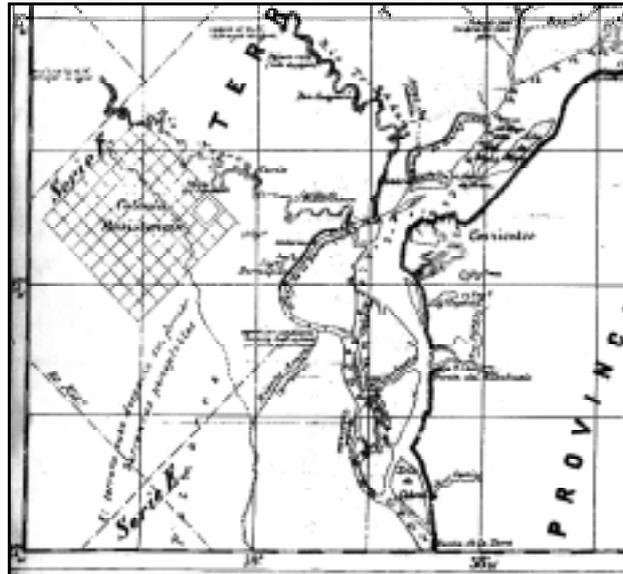


Figura 4. Relevamiento de Seelstrang y Foster, 1876

El estrechamiento ubicado en la zona del puente Chaco-Corrientes se ha mantenido estable por muchos años, siendo el plano de Seelstrang de 1876 (**Fig. 4**) un antecedente de la presencia de islas en él.

La experiencia en el mantenimiento de los canales de navegación indica que el thalweg del río tiene el siguiente comportamiento: en los períodos de aguas bajas tiende a seguir un curso sinuoso por pérdida de competencia, pero en los períodos de crecientes puede rectificarse en forma local (por aumento de competencia). Si la recesión del pico de la creciente es suave y se prolonga varios meses permite definir bien un canal de suficiente profundidad que se mantiene aún durante aguas altas. Pero si el pico es agudo y la recesión subsiguiente brusca, el canal queda muy pobremente definido. A esta secuencia los encargados del mantenimiento de los canales de navegación denominan “autodragado” (Prendes y Huespe, 2000).

No siempre el canal de navegación sigue estrictamente la línea más o menos definida del thalweg. Esto sucede actualmente en la zona del puente donde obligadamente las embarcaciones deben pasar por la zona de la estructura concebida para su paso (puente principal, hacia margen izquierda), y luego retomar el canal principal ubicado contra margen derecha. Aquí se corre el riesgo de impacto contra las pilas del puente ante la inercia de las embarcaciones que dificulta las maniobras.

Esta trayectoria se ha visto alterada varias veces en los últimos años, como cuando el canal más profundo ha optado por la margen derecha en la zona de la isla Calia, con una posterior reversión, o cuando se definió como canal más profundo en la zona del puente el de la margen derecha. Este cambio se produjo a partir de los '80 (aunque la tendencia se manifestó en los '70, como se demuestra más adelante), siendo que hasta entonces el canal pasaba por debajo del puente principal, recostado sobre margen correntina

Los cambios no hacen más que confirmar la muy alta variabilidad de la zona de las islas, conflictiva por la existencia de la curva, de la obra hidráulica y del estrechamiento inmediato aguas arriba.

A esto se debe agregar que durante las grandes crecientes se producen rectificaciones locales, rápidos avances de las macroformas hacia aguas abajo, y formación de dunas de grandes dimensiones.

TRAZADO

Básicamente hay tres tipos de trazados: rectos, meandriformes (sinuosos) o trenzados (con islas). A su vez se distingue una gran cantidad de subtipos, especialmente entre los llamados “transicionales” entre los dos últimos, porque muchos cursos sinuosos presentan islas. De acuerdo al tipo de carga sólida transportada (en suspensión fina o gruesa por arrastre de fondo) Schumm (1977) los clasifica en ríos “tractivos” (entrelazados) o “suspensivos” (meandriformes).

Toniolo (1999) analizó el trazado del Paraná Medio y concluyó que el trazado entrelazado no describe adecuadamente su morfología. Sus rasgos más bien lo ubicarían en categorías de cursos transicionales entre entrelazados y meandriformes (Schumm, 1977). Sustentó sus afirmaciones en los siguientes indicadores medidos:

Razón de transporte carga total de material de lecho/ carga total, del orden del 16%.

Razón de aspecto, o ancho/ profundidad, mayor de 40 en la mayoría de los tramos.

Sinuosidad del cauce menor que 1,3.

Distribución de caudales específicos concentrada en un thalweg único en muchos tramos, que concentra gran parte del caudal total.

Pendiente hidráulica del cauce del orden de 1×10^{-5} .

Thalweg con características de corrientes meandriformes.

Estas características darían al Paraná la categoría de curso tractivo, de acuerdo a la categorización de Schumm (1977), incluyéndolo, además, en la de río entrelazado pero con thalweg meandriforme (Schumm, 1985) (Ramonell *et al.*, 2000; Huerta, 2001).

Orfeo, 1996 a, ha aplicado la relación de Friend y Sinha (1993) al río Paraná, clasificándolo como entrelazado por tener sinuosidad inferior a 1,5 y entrelazamiento (Relación de entrelazamiento: $B=Lc_{tot}/L_{m\acute{a}x}$) superior a 2.

La carga tractiva del Paraná es proporcionalmente muy elevada respecto a la carga total. A pesar de las amplias diferencias existentes entre el Alto Paraná y su Tramo Medio, principalmente en su régimen hidrológico (de 8.900 a 16.900 m³/s de descarga media anual), carga de fondo y de sedimentos suspendidos (de 14,8 mill. a 118,7 mill. de ton por año), el trazado y elementos de canal (bancos e islas) son muy similares en ambos tramos, lo que sugiere que la participación de su carga de fondo es la que determina esta similitud (Orfeo y Stevaux, 2001). La influencia del río Paraguay explica la mayor parte de las diferencias observadas en ambos tramos del Paraná en cuanto a carga sedimentaria suspendida e influencia hidrológica, pero no es suficiente para dar cuenta de la continuidad de sus rasgos morfológicos que permanecen prácticamente inalterables.

En la zona de estudio el trazado del Paraná es entrelazado presentando dos brazos principales entre los cuales el río ha alternado según los registros batimétricos disponibles, e islas en rápida evolución. El thalweg se presenta como definido, pero en algunos años, como en 1971 (**Fig. 21**), se ha podido observar dos o más canales compitiendo entre sí por asumir el rol de canal principal. La característica meandriforme del thalweg se define mejor según las experiencias de los técnicos en navegación durante las aguas bajas, pero las influencias de las crecientes tienden a rectificarlo y alterar sus relaciones (ancho/radio de curvatura, ancho/ longitud de onda y amplitud) geométricas.

El comportamiento anterior se debería a que durante las crecientes erosiona en los estrechamientos y deposita en los ensanchamientos, pero durante las bajantes el proceso es inverso, definiendo mejor los canales en los tramos con islas.

ESTABILIDAD

Se han determinado las relaciones de Lane (1957) ($S.Q^{0,25} \leq 0,0007$) y de Leopold y Wolman (1960) ($S.Q^{0,44} < 0,0125$), siendo que por ellas el trazado del Paraná en la zona de estudio debería ser meandriforme (con el caudal módulo del período 71-97, $Q = 19537 \text{ m}^3/\text{s}$, se tienen valores para cada una de 0,00068 y de 0,004, respectivamente). La relación ancho/profundidad en la sección Corrientes, superior a 100 (110), y su energía específica ($E = v^2/2g + h = 12,55$) según Richardson (1997), lo ubicaría entre los monocanalizados. El hecho de que no tenga tal patrón indicaría cierta susceptibilidad a cambios repentinos si se llegaran a superar ciertos umbrales en las modificaciones (climáticas naturales o antrópicas).

CAMBIOS MORFOLÓGICOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

En la sección la proximidad del thalweg a margen derecha puede inducir erosiones, como parece confirmarlo el mayor ancho observado desde 1970 (cuando oscilaba en los 1.400 metros). En los últimos 4 años presentados en el **Cuadro 4** se confirman valores mayores para él (aproximadamente 1.456 metros).

La relación ancho profundidad (W/D) es superior a 150 en ensanchamientos. Frente a Corrientes (sección Punta Tacuara, 1 km aguas arriba del puente actual) para un ancho medio de 1.430 metros y una profundidad media de 12,7 metros, está en alrededor de 112.

Estudios previos (Evarsa, 1995) señalaron la tendencia del río a adoptar mayores profundidades hacia margen derecha (derecha de la **Figura 6**), evidente desde la década de los '70, quizá bajo la influencia de la obra (el puente Chaco-Corrientes se terminó de construir en 1973). En la secuencia (**Fig. 6**) de perfiles de dicha sección (años 1.971-77-83 y 95) se observa cómo el proceso terminó de consolidarse en los '90. El avance del thalweg hacia margen derecha pudo ser el causante de la erosión en esta margen (menos resistente que la opuesta) en los últimos años, que produjo un incremento del ancho (B máx, **Cuad. 4**) respecto a la media, aún para caudales menores.

Se pudo constatar la correspondencia entre profundidades y caudales específicos. La consolidación del thalweg hacia margen derecha, como ya dijimos, dejó al puente colgante principal (ubicado en margen izquierda) descolocado respecto al thalweg, con lo que debería

forzarse al canal de navegación por él mediante dragados, con un costo no previsto en el proyecto original.

Cuadro 4. Aforos Sección Corrientes

Fecha aforo	Bmáx (m)	Q (m ³ /s)	Area A (m ²)	Velocidad V (m/s)	Prof. media h (m)
Jul-80	1439,47	19000,00	14585	1,30	10,13
Abr-83	1434,85	38652,00	22109	1,75	14,77
Nov-83	1456,37	27532,00	17722	1,55	12,17
Ago-84	1374,37	18772,00	20018	0,94	14,57
Ene-86	1410,50	10610,00	15510	0,68	11,00
Jul-88	1401,87	18596,00	16399	1,13	11,70
Jun-91	1407,80	17024,00	18847	0,90	13,38
May-92	1433,64	36464,00	21461	1,70	14,97
Dic-96	1433,64	21417,03	17859	1,20	12,70
Jun-98	1412,44	17902,25	18919	0,95	13,09
Abr-99	1465,64	22430,43	19894	1,13	13,70
Oct-99	1462,26	11718,41	16000	0,73	10,94
Sep-00	1435,08	15298,11	18662	0,82	12,96
Jun-01	1461,79	14221,03	16867	0,84	11,54
Promedios	1430,69	20689,02	18204	1,12	12,69

Fuente: Evarsa. Las áreas han sido determinadas según las profundidades medidas en cada punto de las secciones. Velocidades y profundidades medias se han obtenido indirectamente: $h = A/B$; $v = Q/A$.

La serie de figuras siguientes (**Figs. 7 a 9**) muestran lo que parece repetirse como un patrón de comportamiento de la sección Corrientes ante las crecidas:

En la primera (julio 1980) se observa la sección con el perfil típico de los meandros: mayores profundidades del lado convexo o exterior de la curva (margen derecha), tal cual las modificaciones experimentadas a partir de la década de los '80 (tomando los caudales medios mensuales, **Fig. 7**: 18.250 m³/s, A, área mojada = 14.585 m²).

En la **Fig. 8** (abril 1983), se observa el paso de la mayor crecida registrada del siglo XX (noviembre de 1982 a agosto de 1983), y la sección muestra mayor área mojada (22.109 m²) tomando forma más rectangular a fin de dar paso a los mayores caudales (36.939 m³/s).

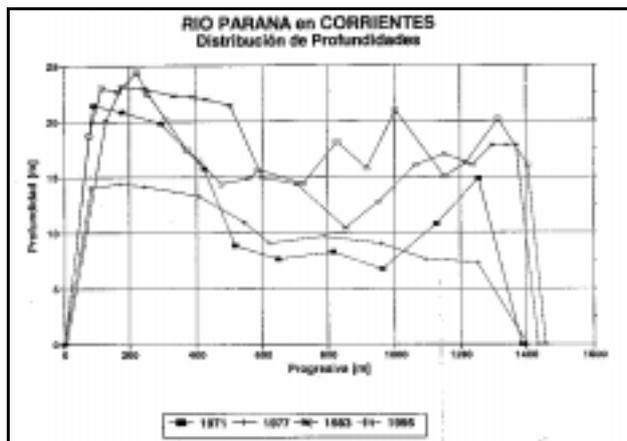


Figura 6. Distribución de profundidades en Corrientes (Evarsa, 1995)

Ref.: Margen Izquierda ubicada a la izquierda de la figura.

La **Fig. 9** muestra la sección con caudales decrecientes: agosto de 1984 (16.777 m³/s), mostrando cómo la sección adopta nuevamente su forma típica, con mayor profundidad sobre margen derecha. Este comportamiento podría ser el causante de erosiones de márgenes ante la tendencia del thalweg por ubicarse en la margen menos resistente. Por lo tanto, los mayores caudales específicos con mayor poder erosivo también se ubicarán más cercanos a la misma.

EVOLUCIÓN DE LOS BANCOS E ISLAS

En la **Figura 10** (Inconas, 2001) se presenta la serie (años 1944 -62 y 94) de cambios morfológicos en la zona de estudio desde 1944. Se observa la fusión de las islas de la Palomera, de las islas Noguera, y la tendencia del canal principal hacia el brazo izquierdo del río.

Se observa también la formación de la isla Chouí adosada a la Santa Rosa así como la prolongación de la punta de esta última hacia aguas arriba, y el estrechamiento del brazo derecho y adelgazamiento de la isla de la Palomera en su parte central (altura del riacho Platero), ante el desplazamiento de la isla Calia.

Las **Figuras 11** (Gustin, 1995), y **13** (1972) muestran la evolución morfológica de la zona de estudio (la última en la etapa de construcción del puente General Belgrano o Chaco-Corrientes). En la primera ilustración se observa un banco adosado a la punta de la isla Santa Rosa. Las dos islas Noguera tienen puntas con dirección hacia el norte, lo que indica la dirección de la corriente. Asimismo, la punta de la isla Platero (o de la Palomera), hacia el noroeste.

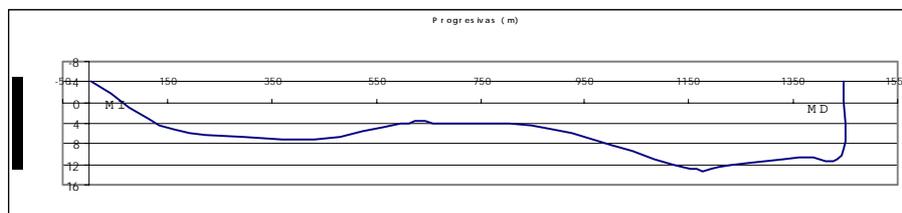


Figura 7. Sección de aforo en Corrientes. Julio 1980

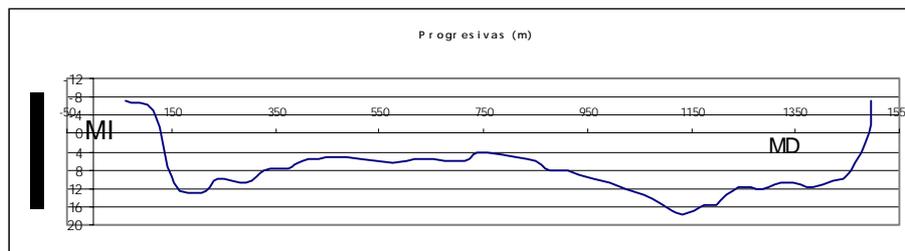


Figura 8. Sección de aforo en Corrientes. Abril 1983

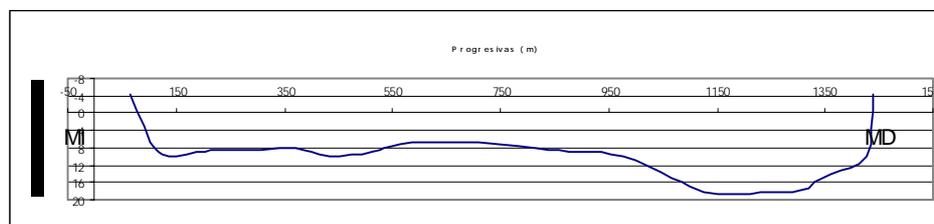


Figura 9. Sección de aforo en Corrientes. Agosto 1984

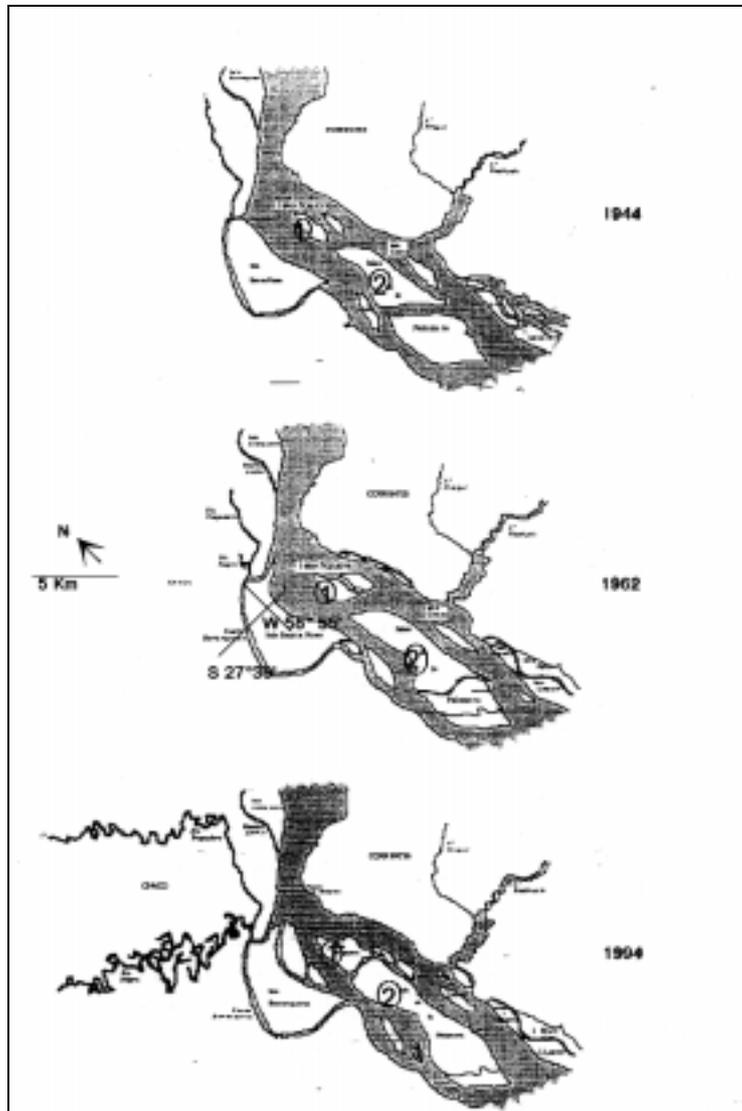


Figura 10. Evolución morfológica (Inconas, 2001)
 Referencias: 1: Islas Noguera; 2: Islas de la Palomera

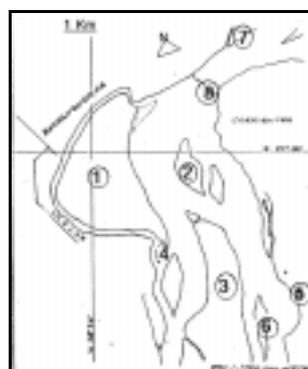


Figura 11. Croquis de Ubicación (de aerofotografía año 1.958. Gustin, 1995)
 Referencias: 1) Isla Santa Rosa; 2) Isla Noguera; 3) Isla de la Palomera (isla Platero) ; 4) Isla Pañuelo Colorado; 5) Desembocadura Riachuelo; 6) Isla Cabral; 7) Isla Antequera; 8) Emplazamiento (futuro) Puente Chaco-Corrientes.

La formación de los bancos obedecería a la expansión de las líneas de corriente, desde el puente hacia el extremo sur de la isla Santa Rosa (Evarsa, 1995). En esta fotografía la desembocadura del riacho Barranqueras muestra la pequeña isla Pañuelo Colorado (4 en **Fig. 11**) y la próxima isla Calia.

En la **Figura 12** (aerofotograma parcial de 1972 de la zona de estudio, desde el puente hacia aguas abajo) los cambios observados son notables: el banco ubicado en la punta de la isla Santa Rosa se ha adosado definitivamente a ésta, lo que prolonga el canal de acceso norte del riacho Barranqueras, y el ubicado a su margen izquierda se ha transformado en la isla llamada en ese entonces El Banquito (actual isla Chouí).



Figura 12. Aerofotograma 1972

Ha surgido un gran banco que cubre prácticamente todo el brazo derecho del cauce (y también gran parte del brazo izquierdo) en forma de abanico con vértice en la punta norte de la isla Noguera. Ha surgido otra isla a la izquierda de esta última, así como una pequeña al este de la isla Platero y un banco al norte de la desembocadura del río Riachuelo (costa correntina, 5 en **Fig. 11**). La isla Pañuelo Colorado ha cambiado al desplazarse hacia aguas abajo (como lo hizo también la isla Calia), rectificando la desembocadura del riacho Barranqueras.

Análisis de las fotografías

La forma de la isla El Banquito y del gran banco de las Noguera (**Fig. 12**) es la típica del lóbulo de las macroformas o barras alternas (Bridge, 1993; sección 2, en color oscuro en el esquema de **Figura 13**), señalando el paso de la creciente de 1966 y quizá alguna influencia del puente. La punta de la isla Platero se ha redondeado con respecto a la **Fig. 11**, indicando la dirección de la corriente (Drago, 1977) en un radio de curvatura cerrado en el canal ubicado entre islas Noguera y Platero.

En la fotografía de 1972 se distinguen los pequeños radios de curvatura del thalweg, del orden de 2 y 3 veces su ancho, que se dio en coincidencia con bajos caudales dominantes ($15.424 \text{ m}^3/\text{s}$).

El crecimiento de las macroformas de la isla Noguera y El Banquito que se hicieron visibles desde 1972 (**Figura 12**) es importante y resulta la mayor formación de los últimos años. En los años sucesivos el escurrimiento formó los canales de cruce (**Fig. 14 C**), tanto por margen

derecha como por margen izquierda del gran banco, de acuerdo a la interpretación de Bridge (1993).

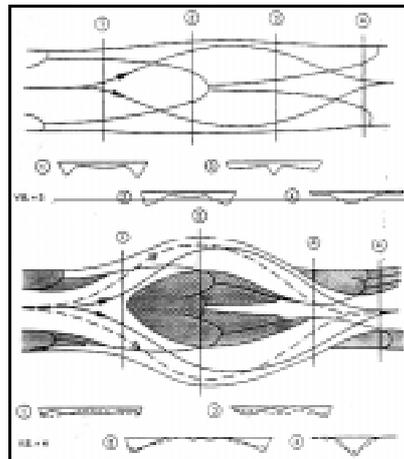


Figura 13. Desarrollo de Macroformas centrales (Bridge, 1993)

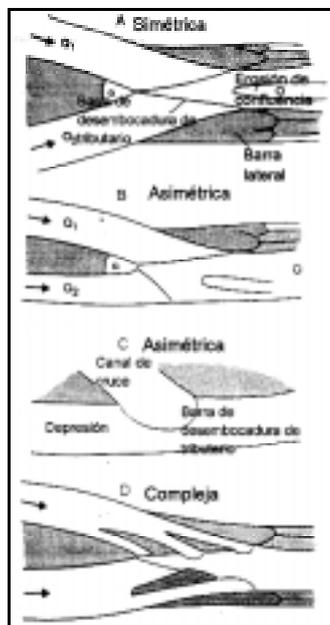


Figura 14. (A a D) Geometría de confluencias (Bridge, 1993)

Con caudales elevados las líneas de corriente principales se acercan al extremo aguas arriba de las islas, alejándose de su extremo inferior (provocando sedimentación en este lugar y forzando un desplazamiento hacia aguas abajo), separando el thalweg de las costas de la isla. En cambio, con caudales bajos se tiene tendencia a agradación en el extremo aguas arriba y mayor acercamiento del thalweg a las costas de su punta aguas abajo (Figura 13).

Las macroformas barras laterales, según Bridge (1993), corresponderían a las islas Calia y Cabral.

En mayo 2002 (ver Fig. 1) ambos lóbulos abrazan la punta norte de la isla de la Palomera con un lento avance hacia aguas abajo, que aún continúa. La isla Chouí sufre un retroceso similar, respecto a marzo de 1997 (imagen no incluida), con pequeños cambios, aún a pesar de la gran creciente de 1998. La isla Calia (sobre margen derecha, aguas abajo de la desembocadura del riacho Barranqueras) y la isla Cabral (su simétrica sobre margen izquierda, aguas abajo de la

desembocadura del Riachuelo) también experimentan un proceso de acreción lateral y lento desplazamiento aguas abajo.

Se observa la formación de un banco en la punta sureste (aguas abajo) de la isla de la Palomera (típico de las confluencias, montado sobre el lóbulo: Barra de confluencia de tributario (rápido), **Figura 14 A y D**) afianzado con vegetación, señalando la continuidad del proceso, reforzado por los caudales menores registrados desde 1998.

El proceso de formación de la isla Chouí, de un banco en proximidades de la punta nordeste de la isla Santa Rosa, y del gran banco en la cola de la isla Noguera, parece avanzar ininterrumpidamente hacia aguas abajo. La gran creciente de 1983 ha engrosado al último con mayor aporte de sedimentos hacia la zona de la isla El Banquito-Chouí (y provocado un desplazamiento). Con el recrecimiento de la punta de la isla Santa Rosa se evidencia la tendencia del thalweg hacia el brazo izquierdo del río.

Desde inicios de la década del '70 y hasta fines de la década del '80 se observa una reversión del crecimiento hacia aguas arriba de "El Banquito" ubicado en el nordeste de la isla Santa Rosa. Se erosiona marcadamente retrocediendo varios cientos de metros, mientras que la punta de la isla Santa Rosa sigue creciendo hacia aguas arriba.

Durante la creciente de 1998 se observa solamente la continuidad del avance de ambos procesos.

En el año 2002 (**Fig. 1**) se puede observar que la morfología de la punta norte de la isla Santa Rosa y de la isla Chouí indican un lento desplazamiento aguas abajo ampliando el brazo derecho (canal principal) del Paraná.

Este proceso de retroceso de la macroforma podría concluir tanto con el desplazamiento total hacia aguas abajo fuera de la zona de estudio como con arribo de nuevo material y formación de nuevos bancos en la proximidad de la isla Santa Rosa.

BATIMETRÍAS

Las batimetrías disponibles en la Dirección Nacional de Vías Navegables y Construcciones Portuarias (Distrito Paraná Superior) son las siguientes:

- **1937**. (Escala 1:10.000). Levantamiento agosto (kms 1.208-1.195) y octubre - noviembre de 1937, kms 1.195 a 1.180, zona de estudio. Se observa un gran banco ya en la isla Noguera (nivel respecto al cero del hidrómetro de Corrientes en la isla: +4,00) a +1,5 y +2,00, así como el canal principal, con pequeño radio, corriendo desde la margen derecha a la izquierda entre las Noguera y Palomera, y luego sigue por costa correntina. La embocadura del riacho Barranqueras es profunda, más que su desembocadura (**Fig. 15**; la línea de trazo grueso indica la posición del thalweg).

- **1.971**. Escala 1:10.000. Sección kms 1208-1195, levantamiento Dic. 1970-enero '71, y kms 1.195-1.180 del canal de navegación, realizado entre marzo y agosto 1971. En conjunto abarca la zona de estudio completa. **Figura 16**. Si bien el canal más profundo (isobata -5, respecto al cero del hidrómetro de Corrientes) sigue pasando entre las islas Noguera y Palomera, se va estrechando y se interrumpe próximo a la isla Cabral, para luego continuar muy próximo a la costa correntina. Surge un nuevo canal próximo a margen derecha, bordeando la costa chaqueña y la isla Pañuelo Colorado por su margen derecha, con isobatas entre -3 y -5, mientras que por margen izquierda de isla Calia se observa otro canal en isobatas -3 y -4 complicando el acceso al puerto Barranqueras por la desembocadura del riacho. Los 2 bancos de "El Banquito" se han fusionado y ha surgido

otro aguas abajo, más próximo a la Noguera; el thalweg lo contornea con estrecho radio todavía.

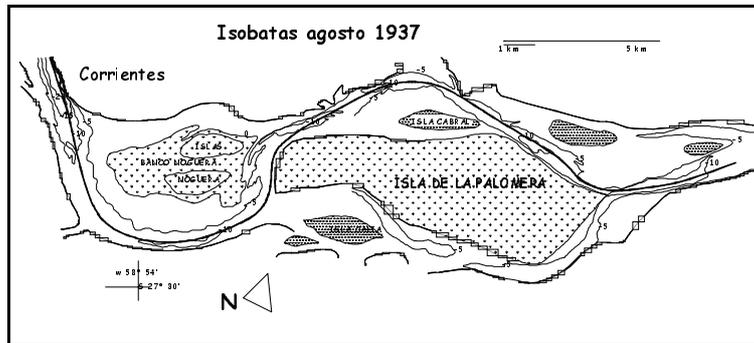


Figura 15. Batimetría 1937

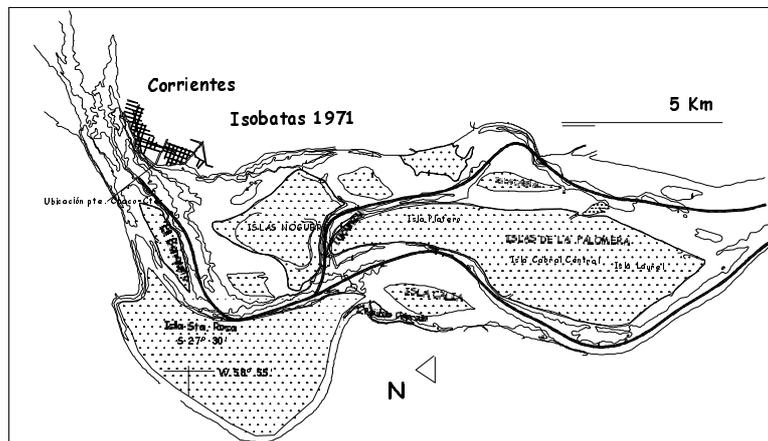


Figura 16. Batimetría 1971

- **1981/83.** Escala 1:10.000. Sección kms 1205-1189, levantamiento del 13/oct/81 al 15/11/83; kms 1190-1178, levantamiento realizado durante el mes de octubre de 1981. **Figura 17.** Abarca toda la zona de estudio. El Banquito determina que el cauce principal tome un curso rectificad, pasando ahora por la margen derecha de la isla Calia. La isla Pañuelo Colorado se ha anexoado a la costa chaqueña, y la isla Calia aparece con un banco al suroeste. El acceso al puerto Barranqueras se hace por la desembocadura del riacho del mismo nombre. Ha desaparecido el canal importante entre la isla Noguera y Palomera, siendo ahora estrecho y de escasa profundidad. Se evidencian retrocesos de El Banquito y de isla Noguera, así como una tendencia del canal principal hacia cauce izquierdo, que aparece con numerosos bancos próximos a la punta norte de la isla de la Palomera, como desprendimientos del lóbulo de la Noguera. Estos bancos también se observan por cauce o brazo derecho, y han obligado a tomar como canal de navegación al próximo a la margen derecha. En la cola de la Palomera en el canal o brazo izquierdo se observa la formación de bancos (de desembocadura de tributarios). Del proceso de cierre del canal entre Palomera y Noguera (riacho Tuncuzú) se deduce que también sufrieron en su época similar cierre el que existía entre las islas Palomera Cabral Central y Laurel, el riacho Platerito. (Las islas de la Palomera estaban conformadas por 3 islas, de aguas arriba a aguas abajo: Platero, Cabral central y Laurel, separadas por los riachos Platero y Platerito.)

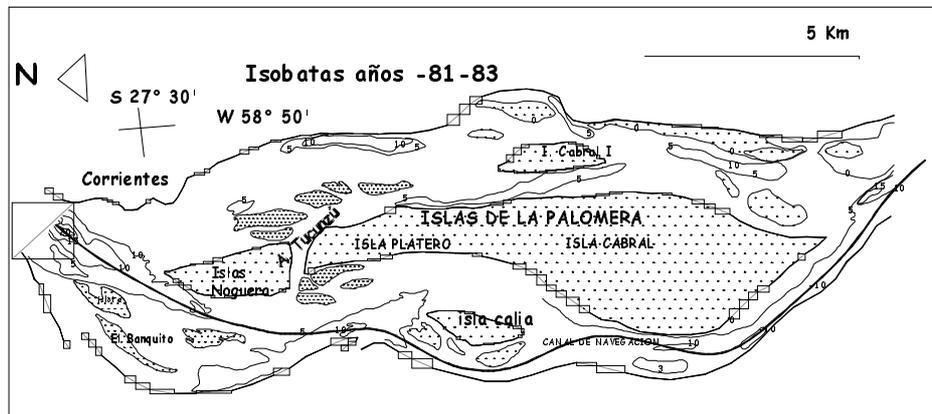


Figura 17. Batimetría 1981-83

Del análisis de las batimetrías y su comparación con las fotografías aéreas resulta:

- o El surgimiento de la macroforma es ya visible en 1937, como un gran banco en la ubicación de la isla Noguera. El radio de curvatura del canal principal en ese año es reducido, en comparación a la rectificación posterior. El thalweg cruza a margen izquierda entre el banco Noguera y la isla Platero o (punta de la Palomera, riacho Tuncuzú). El thalweg luego divaga entre isla Cabral I (llamada así para diferenciarla de la antigua Cabral, o de la Palomera central). Se aproxima a margen correntina y luego vuelve a aproximarse a la costa de la Palomera en la confluencia con el brazo derecho.
- o En 1964 se observa el surgimiento de El Banquito (luego isla Chouí) ya visible en la aerofoto de 1958, así como del banco que luego prolongaría la punta de la isla Santa Rosa. El thalweg sufre una rectificación hacia margen izquierda.
- o En 1971 se observa la rectificación del thalweg debida a la aparición de El Banquito (creciendo hacia aguas arriba, Fig. 16). Todavía se conserva una bifurcación próxima a la desembocadura del riacho Barranqueras, tanto por margen derecha como izquierda de isla Calia, a lo que se suma la antes citada por el canal entre Noguera y Palomera.
- o En 1981-83 (relevamiento realizado durante la gran creciente) se observa un gran desplazamiento de la macroforma hacia aguas abajo, tanto por la presencia de bancos a ambos lados de la isla de la Palomera como aguas abajo, en la confluencia de los dos brazos del río. Se cierra definitivamente el paso entre Noguera y Palomera, debido al desplazamiento de la primera hacia aguas abajo, y el thalweg cambia hacia margen derecha en la isla Calia. Se observa un leve desplazamiento de la isobata de -3 y -5 metros hacia aguas abajo en el brazo derecho del río, respecto a la batimetría de 1971.
- o 2002. Se produce la continuación del desplazamiento hacia aguas abajo de la macroforma, tanto en la isla Chouí como en la punta de la isla de la Palomera. Se aprecia el ensanchamiento del canal principal o brazo derecho del río en la zona de su embocadura, quizá debido al banco allí formado, aunque éste no es visible. El canal de navegación sufre un nuevo cambio, pasando ahora por la derecha del banco nuevo. Son visibles procesos agudos de erosión (árboles caídos, barrancas verticales con caída de bloques) en toda la costa norte de la isla Noguera, en la punta de la isla Santa Rosa y en la costa este de la isla Chouí.

De la **Fig. 18** se desprende que el crecimiento en tamaño de los bancos de arena en los últimos 30 años relativamente no fue importante, como en cambio sí lo fue el corrimiento hacia aguas abajo de la macroforma. Este desplazamiento “en cámara lenta” es de unos 200 a 300 metros por año, una velocidad insignificante comparada con el avance de las dunas del fondo (del orden de unos 2 a 10 metros/día; Amsler y Prendes, 2.000).

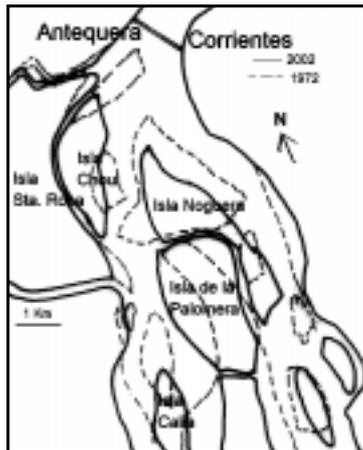


Figura 18. Comparación morfológicas 1972-2002

INFLUENCIA DEL PUENTE ACTUAL

La construcción del puente se inició en 1968 y terminó en 1973, con caudales bajos durante esos años (máximos anuales menores a 30.000 m³/s, Evarsa, 1997), aún bajo la influencia de los caudales dominantes del período de 1930 a los ‘70. La obra no provocó una gran interferencia con el escurrimiento debido al método de construcción. El terraplén de acceso podría haber causado represamientos, pero solamente si las crecidas superaban las cotas del nivel del valle donde se encontraba el viaducto, cosa que no ocurrió.

Además, la fotografía de 1972 muestra el avanzado proceso de formación de la macroforma, cuando aún no había ocurrido ninguna creciente de importancia desde la construcción del puente. El proceso, como se observa en la batimetría de 1937 y el fotograma de 1958, se había iniciado mucho antes.

Sus pilas no alteran en forma general la distribución de la corriente. Su influencia es localizada en algunos decenas de metros aguas abajo, provocando erosión local al frente y a los lados de la pila (vórtices de herradura). Se produce también sedimentación aguas abajo, pero no puede producir cambios en la dinámica hídrica y morfológica del nivel de las observadas en 1972.

La creciente de 1966 fue la que aceleró el proceso de formación del banco Noguera y la rectificación del thalweg en la zona de estudio, y el puente Chaco-Corrientes prácticamente no incidió en los cambios morfológicos e hidrodinámicos durante su construcción.

Antes de 1980, como se desprende de la **Fig. 6**, se produjo en la sección Punta Tacuara el desplazamiento del thalweg desde margen izquierda a margen derecha, proceso que luego se propagó a la sección ubicada debajo del puente desde 1990 (**Fig. 3**). Quizá haya tenido alguna influencia aquí la obra, dado que el freno al escurrimiento producido por el terraplén de acceso, sumado a la erosión general y local en la zona puede haber incrementado la fuerza de corte sobre la margen derecha durante las grandes crecidas.

En el retroceso hacia aguas abajo de la isla El Banquito (desde 1972) pudo haber influido la aceleración del escurrimiento provocada por la presencia del puente.

La formación del banco nuevo observada en la batimetría de 1.990 (Evarsa, 1.995), en la imagen de 1.994 (ubicado ya mucho más abajo, próximo a la punta de la isla Noguera) y en la batimetría del 2.001, y su rápido desplazamiento, también pudo deberse a la erosión localizada realizada por el puente. Pero se debe tener presente que el Paraná es un río que transporta gran carga de fondo donde la aparición de nuevos bancos (y su rápida desaparición) es una constante.

La erosión por contracción y local en el puente genera sedimentos que son arrojados por los vórtices de eje vertical (estelas) hacia la zona inmediata aguas abajo. Esta erosión se incrementa considerablemente durante el paso de caudales elevados y los sedimentos son luego arrastrados por la corriente hacia el centro de la zona de estudio. A esto debe sumarse la erosión por las corrientes secundarias helicoidales debido a que el tramo en cuestión es una curva y, además, allí ocurría el cambio de margen del thalweg. Este volumen de sedimentos debe depositarse justamente en adyacencias al canal de navegación, donde se ha observado el banco nuevo (1.990).

Batimetrías realizadas por Evarsa en 1.990 y 1.995 señalan el desplazamiento aguas abajo de las isobatas (del 0, 5, y 10 metros) en proximidades del puente Gral. Belgrano. En ellas se observa la rectificación del canal principal aproximándolo a margen derecha, así como la formación del banco (a nivel cero) que luego aparece lindante a la punta de isla Noguera en la imagen satelital de 1.994. La rectificación del thalweg desde 1.966 aceleró la erosión en la sección, siendo el material rápidamente depositado y luego arrastrado corriente abajo hacia la margen derecha del thalweg. Además, cerró el paso a los filetes que cruzaban del canal derecho al izquierdo entre las islas Noguera y Platero. Este banco puede incidir en un nuevo refuerzo hacia la tendencia de la distribución de caudales hacia margen izquierda.

El desvío de las isoprofundidades, que, partiendo desde el puente principal hacia el extremo sur de la isla Santa Rosa, se ha venido observando hacia margen izquierda, en realidad parece deberse a la rectificación del thalweg.

POSIBLES EFECTOS DEL PUENTE FUTURO EN LA MORFOLOGÍA

El puente futuro (ferro-automotor) cruza el Paraná aguas abajo de la desembocadura del riacho Barranqueras en forma recta, atravesando el canal derecho del río, las islas Noguera y Palomera y el canal izquierdo hasta alcanzar finalmente la costa correntina. El anteproyecto no prevé terraplenes en la zona del cauce, teniendo estribos localizados a 300 metros de la margen chaqueña, un puente principal atirantado en dos tramos de 560 metros de longitud total y viaductos de acceso en ambas márgenes (1.000 metros del lacho chaqueño y 4.900 m del lado correntino).

Si bien hay previstas dos alternativas, una con puerto a la altura de Colonia Tacuarí y la otra con puerto emplazado sobre la costa oeste de la isla Noguera, de acuerdo a la información disponible se ha descartado esta última.

La evolución del thalweg muestra constantes variaciones, siendo que, precisamente muy cerca de la traza del puente futuro, se han producido cambios de posición entre 1937 y 1971. En las batimetrías disponibles se ha podido seguir la evolución del thalweg considerando su distancia

a margen derecha (zona de estribo del puente futuro, Cnia. Tacuarí) (**Cuadro 3**). En el 2.002 esa distancia se estimaba en unos 450 metros mientras que en 1997 era de 250 (Palmeyro, 1997) (ver **Fig. 3**).

Teniendo en cuenta el radio de curvatura del thalweg (en la zona de estudio, radios más estrechos en correspondencia con años secos, como en 1971, y rectificación con posterioridad a las grandes crecientes, como en 1983)¹, y sus divagaciones, se debería considerar posibles cambios de margen, e inclusive un “corte” de las islas de la Palomera a la altura del arroyo Platero (que divide la isla Platero de la isla Cabral Central, **Fig. 3**). Además, puede incidir en la morfología y en la evolución posterior del thalweg la influencia recibida de aguas arriba (direccionamiento de la corriente, rugosidad, distribución de caudales específicos en el tramo inmediato aguas arriba), como se ha demostrado en otros estudios (Brea, 2000).

CONCLUSIONES

Partiendo de algunas hipótesis sobre el comportamiento del río en la zona de estudio se ha analizado su dinámica geomorfológica sobre la base de imágenes satelitales, fotografías aéreas, batimetrías, perfiles y aforos realizados en la sección Corrientes, y de los estudios antecedentes disponibles.

Se ha analizado la interferencia del actual puente General Belgrano con la geomorfología y el escurrimiento, y el trazado del río en la zona, utilizando para ello un análisis breve del transporte de sedimentos, de los procesos de erosión en el puente y de erosión de márgenes.

Primeramente se han revisado las características generales de su cuenca y el comportamiento hidrológico del río, partiendo de los estudios antecedentes disponibles, a fin de evaluar la incidencia que pudieran tener sobre el comportamiento del régimen de caudales.

Sobre esta base se han llegado a las siguientes conclusiones:

En la zona de estudio el trazado del Paraná es entrelazado presentando dos brazos principales entre los cuales el thalweg ha alternado según los registros batimétricos disponibles, e islas en rápida evolución. El thalweg se presenta como definido, pero en algunos años, como en 1971, se ha podido observar dos o más canales compitiendo entre sí por asumir ese rol. La característica meandriforme del thalweg se define mejor durante aguas bajas, pero las influencias de las crecientes tienden a rectificarlo y alterar sus relaciones geométricas (ancho/radio de curvatura, ancho/ longitud de onda y amplitud). El comportamiento anterior se debería a que durante las crecientes erosiona en los estrechamientos y deposita en los ensanchamientos, pero durante las bajantes el proceso es inverso, definiendo mejor los canales en los tramos con islas. En cambio, la conducta del thalweg en aguas altas o durante las crecientes (rectificaciones locales con brusca disminución de la sinuosidad) se explicaría porque el río busca aumentar la pendiente para transportar mayor caudal sólido.

Mediante las batimetrías se ha podido seguir la evolución del thalweg desde 1937, confirmando su alta sinuosidad de comienzos del siglo pasado, y su gradual disminución,

¹ El comportamiento general observado del Paraná Medio es el de adoptar radios más cerrados en correspondencia con caudales dominantes elevados, y a la inversa en los ciclos de caudales dominantes bajos (Ramonell *et al.*, 2000)

especialmente la ocurrida después de 1971, aunque iniciada con el retroceso del gran banco de la isla Noguera que cegó el paso hacia margen izquierda antes de esa fecha. Este hecho confirma su dinámica y carácter inconstante ante la gran movilidad de los bancos de arena e islas. Al respecto, se ha interpretado que ella responde al proceso cíclico distinguido en los caudales dominantes, y que la disminución de la sinuosidad respondería a que el río buscó incrementar la pendiente para poder transportar los sedimentos acumulados en el período previo de bajos caudales dominantes.

Por los criterios de Lane (1957) ($S.Q^{0,25} \leq 0,0007$) y de Leopold y Wolman (1960) ($S.Q^{0,44} < 0,0125$) el trazado del Paraná en la zona de estudio debería ser más bien meandriforme (con $Q = 19.537 \text{ m}^3/\text{s}$, se tienen 0,00068 y 0,004 respectivamente). La relación ancho/profundidad en la sección Corrientes, cercana a 100 (110), y su energía específica ($E = v^2/2g + h = 12,55$) lo ubican también entre los monocanalizados, según Richardson (1997). El hecho de que no tenga tal patrón indicaría susceptibilidad a cambios repentinos (o tendencia a la inestabilidad) si se llegaran a superar los umbrales en las modificaciones.

Los criterios anteriores constituyen una advertencia respecto a los cambios que podría experimentar el río si las acciones antrópicas o naturales reforzaran su tendencia natural en ese sentido. No obstante, las consecuencias de los cambios introducidos, según el análisis realizado en la tesis, serían más bien tendientes a su entrelazamiento (incremento de la carga total por erosión de fondo aguas abajo de Yacyretá e incremento de la carga procedente del Bermejo, régimen de precipitaciones y caudales más concentrados y empuntados). Sin embargo, la construcción de represas que retienen los sedimentos y el aumento de los caudales medios en un 28% desde los '70 podría producir efectos opuestos al incrementar la capacidad de transporte y facilitar el desplazamiento de la carga acumulada en períodos previos hacia aguas abajo de la zona de estudio, teniendo en cuenta el comportamiento cíclico del clima y la hidrología. Cabe aclarar que esta conclusión está basada en los datos parciales disponibles, y constituye solamente una explicación probable del comportamiento físico.

Se ha detectado una barra alterna (media) como macroforma en la zona de estudio, y se ha interpretado que las islas Chouí, Calia y Cabral corresponden a porciones emergentes de barras alternas, cortadas por canales de cruce en sus costados. Asimismo, se han detectado otros rasgos típicos de las macroformas en la confluencia de ambos brazos en la cola de la isla de la Palomera (barras de confluencia de tributarios). Se distinguieron, además, a los canales que separan las islas Santa Rosa y Chouí, y Noguera y De la Palomera como relictos de antiguas posiciones del thalweg, que serían de importancia para futuras líneas de investigación en la geomorfología.

Se puede interpretar que los cambios de margen en las posiciones del thalweg detectados (en la sección Corrientes desde 1977 y desde 1990 en la sección del puente actual) tienen incidencia en la formación de islas y bancos en la zona inmediata aguas abajo (isla El Banquito-Chouí).

Los cambios de canal y la divagación observada en el período analizado confirman una de las hipótesis planteadas: el río en la zona de estudio se caracteriza por una elevada movilidad, con procesos cíclicos de sedimentación y de transporte de sedimentos.

Teniendo en cuenta el radio de curvatura del thalweg (en la zona de estudio, radios más estrechos en correspondencia con años secos, como en 1971, y rectificación con posterioridad a las grandes crecientes, como en 1983) y sus divagaciones, se debería

considerar posibles cambios de margen, e inclusive la posibilidad de un "corte" de las islas de la Palomera a la altura del arroyo Platero, que divide la isla Platero de la isla Cabral Central. Además, la influencia recibida de aguas arriba (direccionamiento de la corriente, rugosidad, distribución de caudales específicos en el tramo inmediato aguas arriba) determina su evolución, como se ha demostrado en otros estudios.

Los posibles cambios en la ubicación del thalweg en la zona del puente futuro deberán tenerse en cuenta en el proyecto, por cuanto los eventuales alejamientos del puente principal obligarán a elevados costos de mantenimiento del canal de navegación mediante dragados. En este sentido se debería preferir zonas estrechas (más estables) del río a ensanchamientos, como recomendación práctica de diseño respecto a la ubicación del puente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Amsler, M., Prendes, H.** (2000). "Transporte de sedimentos y procesos fluviales asociados". pp 233-306. In: Paoli, C., Schreider, M., Editores. *El río Paraná*, TI, UNL. Santa Fe. Argentina. 307p.
2. **Amsler, M., Toniolo, H. y Ramonell, C.** (1998). "Evolución morfológica del río Paraná: criterios metodológicos empleados en el dimensionamiento de la extensión de la cubierta protectora del Túnel Subfluvial Hernandarias". *Anales XVII C.N.A.*, 5. Fe, T3, pp386-395.
3. **Brea, J.** (2000). "Evolución morfológica del río Paraná en la zona del gasoducto mesopotámico". *XIX C.L.H. Curso internacional precongreso*. La Plata, Argentina.
4. **Bridge, J.** (1993). "The Interaction between channel geometry, water flow, sediment transport, erosion and deposition in braided rivers". Best and Bristow (eds.). *Braided Rivers*, Londres GSSP 75: 13-72.
5. **Chang, H. (1988).** *Fluvial processes in river engineering*, Wiley & Sons, NY, USA.
6. **Drago, E.** (1977). "Erosión y sedimentación en un tramo de cauce del río Paraná Medio (R.A.)", INL. *Rev. As. Geol. Arg.*, XXXII (4):277-290.
7. **Engelund, F.** (1966). "Hydraulic resistance of alluvial streams", *Journal of the hydraulics division*. ASCE. V92 (HY2): 315-327.
8. **EVARSA** (1995). *Estudio hidráulico fluvial del Riacho Barranqueras*. Santa Fe. Dir.: Prendes H., Plan de Defensas contra inundaciones. Prov. del Chaco.

9. **Fariás, H. (1996).** “Hidráulica de canales arenosos en régimen: estado del arte”. *DRH, UNSE*. Santiago del Estero. 12p.
10. **Fedele, I. (1995).** “Dune velocity in sand bed rivers”, H(2000). *XXVI IAHR Congress Student papers*. V5. London.
11. **Friend P., Sinha, R. (1993).** “Braiding and meandering parameters”. In.: Best y Bristow (eds), *Braided Rivers*, Londres. GSSP 75:105-111.
12. **Gustin, A. (1995).** “Hidrovia: no descuidar su comportamiento”. *Diario Norte, Resistencia. Chaco*, 10/12/95 p38.
13. **Huerta y Asociados, Cons. (2001).** “Estudios Hidráulicos”. En: *Estudios de Prefactibilidad y Anteproyecto Definitivo de la Interconexión Vial entre las Provincias de Corrientes y Santa Fe*. C.F.I. Corrientes.
14. **INCONAS S.A., (2001).** *Obra de Control del Río Negro en Barranqueras. Inf. de Avance*. EIA. Ing. Reyna S. y Fontana, J. SUPCE, Chaco. PPCI. C. P4117 AR. BIRF.
15. **Iriondo M., Drago, E. (1972).** “Descripción cuantitativa de dos unidades geomorfológicas de la llanura aluvial del Paraná Medio (Rep. Argentina)”. *Rev. Asoc. Geol. Arg. Bs. As., XXVII (2): 143-160*.
16. **Lane, E.W., (1957),** "A Study of the Shape of Channels Formed by Natural Streams Flowing in Erodible Material," M.R.D. *Sediment Series No. 9, U.S. Army Engineers Division, Missouri River, Corps of Engineers, Omaha, NE*.
17. **Leopold, L., Wolman, M., Miller J., (1964).** *Fluvial Processes in Geomorphology*, Dover, N.Y., 522p.
18. **Leopold, L.B. and M.G. Wolman, (1960),** "River Meanders," *Geological Society of America Bulletin Vol. 71*.
19. **Morbidoni, N., Amsler, M., Schreider, M., (2000).** “Erosión de márgenes”, pp133-183, In: Paoli, C., Schreider, M. (editores), (2000), *El río Paraná, TII*, UNL, Santa Fe, Argentina, 30 Ip.

20. **Orfeo, O.** (1995) a. *Sedimentología del río Paraná en el área de su confluencia con el río Paraguay*. Tesis Doctoral. UNLP- FCNyM, 289 pág.
21. **Orfeo, O.** (1996) c. “Geomorfología del sistema fluvial Paraguay-Paraná en el área de su confluencia”. *XIII Congreso geológico Argentino, III Congreso de Exploración de Hidrocarburos. As. Geológica Argentina- IAPyG. Actas. Vol IV. Geol. del Cuaternario, Geom., Edaf., Glac., Hidrogeología, Geol. Ambiental*. Buenos Aires:131-147.
22. **Orfeo O., Stevaux, J.** (2001). (In press). “Hydraulic and morphological characteristics of middle and upper reaches of the Paraná River (Argentina and Brazil)”. Elsevier Science, B.V., *Geomorphology* 1133:1-14.
23. **Palmeyro y Asociados** (1997). *Complejo multimodal de cargas Corrientes-Chaco y obras complementarias. Inf. Final. Capítulo VI. Corrientes*.
24. **Prendes, H., Huespe, J.** (2000), “Aspectos hidráulicos y sedimentológicos de la hidrovía fluvial”. pp 183-238, In: Paoli, C., Schreider, M., Editores. *El río Paraná, TII*, UNL, Santa Fe, Argentina, 307p.
25. **Ramonell, C., Amsler, M., Toniolo, H.**, (2000), “Geomorfología del cauce principal”, pp73-232. In: Paoli, C., Schreider, M., Editores. *El río Paraná, TI*, LNL. Santa Fe, Argentina, 307p.
26. **Richardson, W.** (1997). *Secondary flow and channel change in braided rivers*. Univ. of Nottingham. 101p.
27. **Schaffernak F.** (1950). *Flussmorphologie and flussbau*. Springer-Verlag, Vienna
28. **Schumm, S.** (1977). *The fluvial system*. Wiley, New York.
29. **Schumm, S.** (1985). “Patron of alluvial rivers”. *Annual Reviews of Earth and Planetary Science*. 13, 5-27.
30. **Seelstrang, A.** (1977). *Informe de la Comisión Exploradora del Chaco. 1876*. Eudeba, Bs. As.103p.
31. **Toniolo, H.** (1999). Las divagaciones del thalweg del Paraná, tesis remitida a la Comisión de post-grado, FICH. Santa Fe.