

DESARROLLO DE UNA EROSIÓN EXTRAORDINARIA EN LA MARGEN DEL RÍO PARANÁ EN LAVALLE

Julio Cesar Cardini, Patricia Rut Jaime, Matías Parimbelli y Noelia legal

Serman & asociados s.a.

Blanco Encalada 2387 P17E Ciudad Autónoma de Buenos Aires (1428) – 1147867577/7727

E-mail: cardini@serman.com.ar - Web: [http:// www.serman.com.ar/](http://www.serman.com.ar/)

RESUMEN

En el presente trabajo, los autores presentan la evaluación de los cambios en la morfología fluvial en el área de Proyecto de la Conexión Vial Reconquista – Goya que cruza el cauce principal y valle aluvial Río Paraná, mediante teledetección y mapeo retrospectivo de imágenes satelitales, y el empleo complementario de cartografía y de fotografías aéreas. Se remarca la existencia de erosiones verticales de magnitud y modificaciones en la línea de costa de la localidad de Lavalle, coincidentes con el impacto sobre la barranca del flujo proveniente de un importante meandro en desarrollo, estimándose una tasa de retroceso promedio de las márgenes del orden de 7 metros/año.

ABSTRACT

In this paper, the authors present the evaluation of changes in fluvial morphology in the area of the Link Road Reconquista - Goya Project, crossing the main channel and floodplain of Paraná river, using remote sensing and retrospective mapping of satellite imagery, and the complementary use of cartography and aerial photographs. It highlights the existence of vertical erosion of magnitude and modifications in the coastline of Lavalle's locality, coinciding with the impact on the gully of the flow from an important meander in development, with an estimated average retreat rate of the banks of order 7 meters / year.

INTRODUCCIÓN

El objetivo del análisis que se presenta consistió en la evaluación de los cambios en la morfología fluvial en el área de Proyecto de la Conexión Vial Reconquista - Goya, mediante teledetección y mapeo retrospectivo de imágenes satelitales, y el empleo complementario de cartografía y de fotografías aéreas para precisar el análisis en sectores clave, en el período 1944-2007 y a los efectos de elaborar una estimación de las tendencias futuras probables de los procesos detectados. En ese marco, se evidenciaron fuertes erosiones verticales y modificaciones en la línea de costa de la localidad de Lavalle, coincidentes con el impacto sobre la barranca del flujo proveniente de un importante meandro en desarrollo.

METODOLOGÍA

Se aplicaron técnicas de procesamiento digital de imágenes Landsat (clasificación no supervisada de respuesta espectral y composición multitemporal) y técnicas de interpretación visual. La composición digital de pares de escenas Landsat y otras imágenes registradas en diferentes fechas, facilitó la comparación de estados del paisaje, y consecuentemente la detección de cambios morfológicos ocurridos en el mismo, debidos a la acción del proceso de erosión \leftrightarrow sedimentación fluvial.

La adecuada selección de fechas de registro de escenas y de la extensión de los períodos de

análisis, permite analizar efectos de ciclos crecida-estiaje individuales; o estimar tendencias del proceso en cuestión, asociadas a varios ciclos consecutivos.

Se analizaron además las profundidades del lecho en la zona más crítica detectada, a los efectos de evaluar también las tendencias erosivas verticales.

Se ha prestado especial atención al proceso de erosión de la barranca elevada -límite oriental de la Llanura Aluvial del Río Paraná, a cuyo pie se sitúa el cauce principal- en inmediaciones de la localidad de Lavalle y Goya, dado que en su evolución convergen acción fluvial y procesos de remoción en masa. Para ello se realizaron comparaciones de fotografías aéreas georeferenciadas a los efectos de analizar con mayor precisión los cambios ocurridos en la margen correntina en las últimas décadas. Las Escenas Landsat empleadas se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1.- Imágenes Satelitales empleadas

Proveedor	Sensor	Fecha	H ^(*) (m)
CONAE	L5 TM	15/11/99	2,72
ENGESAT	L5 TM	02/08/96	2,74
ENGESAT	L5 TM	08/10/91	3,16
INPE	L2 MSS	18/09/77	2,57

(*) Altura hidrométrica en puerto de la ciudad de Goya, Provincia de Corrientes, en la fecha de registro de la escena.

Se han utilizado fotografías correspondientes al vuelo en escala 1: 40.000 sobre la zona de influencia del proyecto, efectuado el 28 y 29/11/2007 (Nivel en Goya 3,76 m y 3,72 m, respectivamente) y al vuelo a escala 1: 10.000 sobre la traza de la conexión vial, efectuado el 10/12/2007 (Nivel en Goya 3,2 m). Asimismo, se emplearon fotogramas adquiridos al Instituto Geográfico Militar del año 1972 (escala de toma: 1:75.000) así como la carta topográfica del IGM del año 1944 que sirvió de referencia para cotejar la posición de la línea de costa correntina, en inmediaciones de Gral. Lavalle.

CAMBIOS EN LA MORFOLOGÍA FLUVIAL

La detección de cambios en la morfología fluvial se realizó mediante análisis multitemporal, interpretando visualmente una composición digital o superposición de pares de escenas registradas en diferentes fechas, que facilita la comparación de estados de elementos del paisaje, exhibiendo cambios de posición de cauces activos y líneas de costa.

Dado que las diferencias altimétricas dentro de la llanura aluvial son relativamente pequeñas (salvo en su límite oriental: definido por la barranca de la Llanura Correntina al pie de la cual se sitúa el cauce principal del Río Paraná; y el Occidental determinado por un salto altimétrico menos abrupto existente entre Terrazas Antiguas y la Llanura Santafesina), las comparaciones se realizaron entre escenas registradas en fechas con alturas hidrométricas similares y en condición de aguas bajas, de modo de captar los cambios morfológicos asociados a la dinámica de cauce, de mayor permanencia y efectos más significativos.

El análisis efectuado permitió la confección de mapas de Teledetección de Cambios Morfológicos que muestran la localización de áreas de cambios generados en tres períodos

separados correspondientes a las tres crecidas extraordinarias producidas en los últimos 26 años y a los estiajes que las acompañaron.

En las Tablas 2 y 3 se presentan rasgos salientes de las condiciones hidrométricas del río Paraná en los períodos de análisis.

Tabla 2.- Caudales del Río Paraná en Corrientes (m³/s)

Período			Caudal		
Desde	Hasta	(años)	Medio	Máximo (*)	Mínimo
18/9/1977	8/10/1991	14,3	20326	60215	9450
8/10/1991	2/8/1996	4,9	19571	54000	10851
2/8/1996	15/11/1999	3,3	22409	48162	10161
8/10/1991	15/11/1999	8,2	20725	54000	10161
18/09/1977	8/10/1991	14,3	20326	60215	9450
18/09/1977	15/11/1999	22,5	20472	60215	9450

(*) Los valores máximos corresponden a los máximos informados por EVARSA S.A: Los valores medios y mínimos fueron calculados a partir de los caudales medios diarios obtenidos mediante la curva de aforo de la estación Corrientes

Tabla 3.- Niveles del Río Paraná en Corrientes, Goya y Reconquista (m)

Período		Nivel hidrométrico en Corrientes			Nivel hidrométrico en Goya			Nivel hidrométrico en Reconquista		
Desde	Hasta	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo
18/9/1977	8/10/1991	4,35	9,02	1,54	4,12	7,03	1,54	4,07	6,95	1,58
8/10/1991	2/8/1996	4,25	8,64	2,04	4,22	7,20	2,29	3,96	6,97	2,16
2/8/1996	15/11/1999	4,78	8,39	1,80	4,58	7,07	2,22	4,61	8,38	1,86
8/10/1991	15/11/1999	4,46	8,64	1,80	4,36	7,20	2,22	4,23	8,38	1,86
18/09/1977	8/10/1991	4,35	9,02	1,54	4,12	7,03	1,54	4,07	6,95	1,58
18/09/1977	15/11/1999	4,39	9,02	1,54	4,21	7,20	1,54	4,13	8,38	1,58

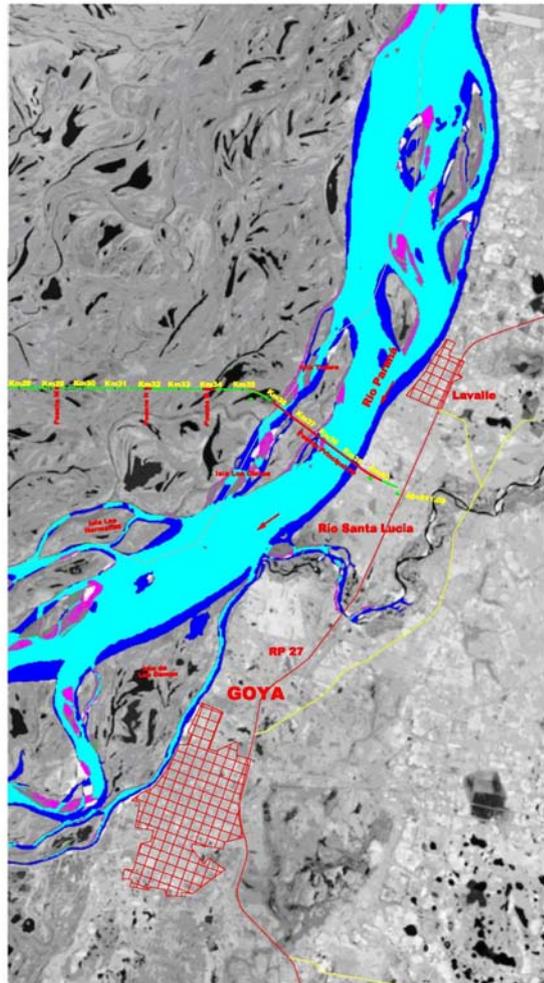
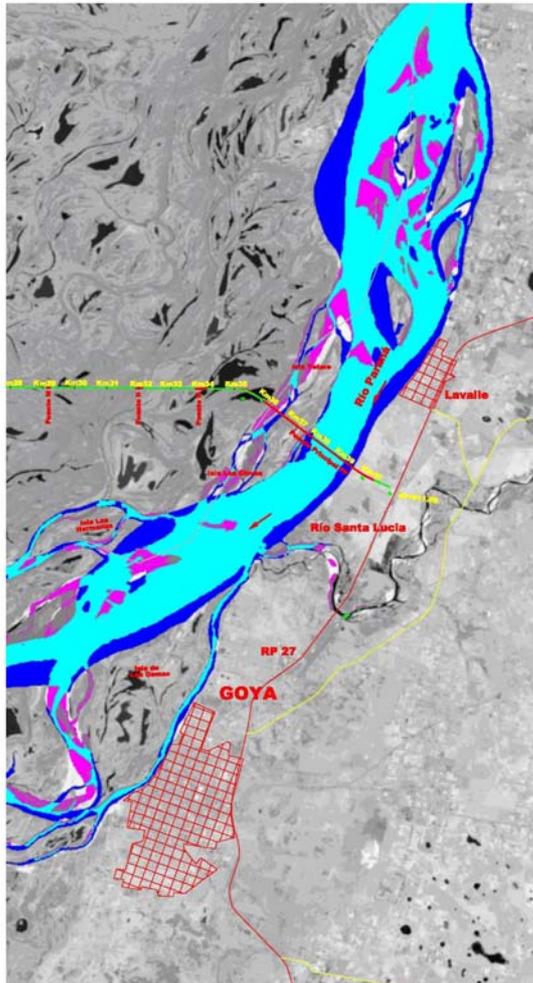
En la Figura 1, se muestra la localización de Áreas de Cambios Morfológicos generados en el período 1999-1977, que involucra las crecidas extraordinarias de 1982-83, 1992 y 1998, estimada en base a las imágenes satelitales obtenidas el 15/11/1999 (Altura hidrométrica en Goya: 2,72 m) y el 18/09/1977 (Altura hidrométrica en Goya: 2,57 m). Se observa que partir de la situación inicial del cauce de 1977, se manifiestan los efectos de las tres crecidas más importantes de los últimos tiempos del río Paraná, que en términos netos definieron incrementos del ancho del cauce principal por migración y avance de ambos márgenes.

En la margen derecha, aguas arriba de la traza se distingue el avance lateral que se estima del orden de más de un kilómetro en el período total y el cambio de la configuración en planta por la aparición de una curva que progresa en dirección SO sustentada por el desarrollo de bancos e islas centrales que dirigen el flujo hacia esa margen. Se advierte también como el brazo secundario izquierdo adquirió relevancia ajustándose a los caudales dominantes del período.

Ya en la zona de influencia directa de la traza, desde aguas arriba del ejido urbano de Lavalle, es notoria la migración de la margen izquierda que en forma generalizada hasta aguas abajo de Goya se desplazó con una tasa promedio de 18 m/año.

PERÍODO 1999-1977

PERÍODO 1991-1977



IMÁGENES LANDSAT UTILIZADAS:
 Escena de Fondo:
 Cuadro 226-080, Landsat 5 TM, Pixel 30 x 30 m en el terreno. Generada por CONAE, Argentina.
 Fecha de registro: 15/11/99. Altura hidrométrica en Goya: 2,72 m.
 Escena Superpuesta:
 Cuadro 243-080, Landsat 2 MSS, pixel 80 x 80 m en el terreno. Generada por INPE, Brasil.
 Fecha de registro: 18/09/77. Altura hidrométrica en Goya: 2,57 m.

IMÁGENES LANDSAT UTILIZADAS:
 Escena de Fondo:
 Cuadro 226-080, Landsat 5 TM, Pixel 30 x 30 m en el terreno. Provisita por ENGESAT S.A, Brasil.
 Fecha de registro: 08/10/91. Altura hidrométrica en Goya: 3,16 m.
 Escena Superpuesta:
 Cuadro 243-080, Landsat 2 MSS, pixel 80 x 80 m en el terreno. Generada por INPE, Brasil.
 Fecha de registro: 18/09/77. Altura hidrométrica en Goya: 2,57 m.

- 1 Localización aproximada de áreas donde ha prevalecido la acción erosiva
- 2 Localización aproximada de áreas donde ha prevalecido la sedimentación
- 3 Localización aproximada de sectores de cauce activos que no presentan cambios de posición significativos

Figura 1.- Cambios en la morfología fluvial en el período 1977- 1999

En la comparación efectuada mediante el análisis de las imágenes del 08/10/1991 (Altura hidrométrica en Goya: 3,16 m) y 18/09/1977 (Altura hidrométrica en Goya: 2,57 m), se pone en evidencia la localización de las áreas de Cambios Morfológicos generados en el período 1991-1977, involucrando la crecida extraordinaria de 1982-83.

Durante este período, la crecida del 79/80 fue de escasa envergadura con un pico que se presentó en marzo superior a los 35.000 m³/s. A esta crecida le siguió la gran crecida de 1983 que tuvo un volumen y una duración excepcionales, y que presentó como característica

distintiva la presencia entre diciembre de 1982 y julio de 1983 de 5 picos que superaron los 50.000 m³/seg., el último de algo más de 60.000 m³/s en la sección Corrientes y manteniéndose durante todo este lapso un caudal superior a los 35.000 m³/seg y un nivel hidrométrico superior al nivel de evacuación.

En este período se registraron dos crecidas más: la de 1986/87 y la de 1989/90. Ambas crecidas presentaron valores máximos en Corrientes, superiores a los 35.000 m³/s (el 30/05/1987 se registró un valor de 39.000 m³/s y el 2/2/1990 el caudal llegó a 43.830 m³/s). La similitud entre las mismas deviene del hecho que ambas tuvieron corta duración (77 y 55 días, respectivamente).

Considerando las características en planta del cauce principal en el área en 1977, el efecto de la crecida extraordinaria de 1982/83 que tuvo una duración de un año con una permanencia de caudales altos de 8 meses se manifestó, en un ensanchamiento generalizado de la sección principal del cauce que tuvo mayor acción sobre la margen izquierda con una migración lateral de la margen que en promedio fue del orden de 180 m pero que tuvo un máximo frente a la localidad de Lavalle de 300 m, indicando una tasa de migración de aproximadamente 20 m/año, promedio en el período analizado de 14 años, que probablemente haya resultado mucho mayor durante la crecida.

La acción erosiva se manifiesta también en la socavación de las islas centrales en general en su sector occidental, y en el ensanchamiento de los brazos secundarios. Se advierte asimismo, en el tramo frente a Goya, la existencia de áreas de sedimentación en coincidencia con las Islas Hermanas y de las Damas.

En la Figura 2 se señala la localización de cambios morfológicos generados en el período 1999-1991, que se asocian a las crecidas extraordinarias de 1992 y de 1998 y los estiajes intermedios. La ubicación de estas áreas de actividad se obtuvo mediante el análisis de imágenes obtenidas el 08-03-91 (cuadro 226-080, Landsat5 TM, ENGESAT S.A., Altura en Goya: 3,16 m) y el 15-11-99 (cuadro 226-080, Landsat5 TM, CONAE, Altura en Goya 2,72 m) que evidenciaron que en términos netos los desequilibrios asociados al pasaje de ambas crecidas definieron un avance neto de la margen derecha del río Paraná del orden de 1500 m en dirección SO, observándose el crecimiento de islas en la zona central que contribuyen al proceso de migración lateral de esa margen. Aguas abajo de esa curva el flujo, dirigido hacia la margen opuesta erosiona las islas que encuentra a su derecha y se dirige en forma neta hacia la margen izquierda aumentando su sección y definiendo erosión sobre la costa de Lavalle y también sobre la margen opuesta, aguas arriba de la traza. Se distingue la intensa deposición sobre las islas de margen derecha que limitan la capacidad del canal secundario localizado al norte de las Islas Tataré-Los Chivos.

Desde aguas arriba de Goya se advierte que el efecto erosivo sobre las costas se manifiesta en ambas márgenes y es acompañado por el desarrollo de islas y bancos que disminuyen la sección de escurrimiento de los cauces secundarios. En la misma figura se muestra la localización de Áreas de Cambios Morfológicos generados en el período 1996-1991. Durante el mismo se presentó la crecida extraordinaria de 1991/92, una típica crecida con subida relativamente rápida, empuntada, con un pico importante y de corta duración, con inicio a fines de abril y culminando con un pico del orden de los 54.000 m³/s a principios de junio, para bajar rápidamente a mediados de julio a menos de 25.000 m³/s. Durante esta crecida se

mantuvieron caudales superiores a los 30.000 m³/s por un lapso de 2 meses, durante los cuales el nivel hidrométrico en Goya y Reconquista superó los niveles de alerta y evacuación.

Período 1999 -1991

Período 1996 -1991

Período 1999 -1996

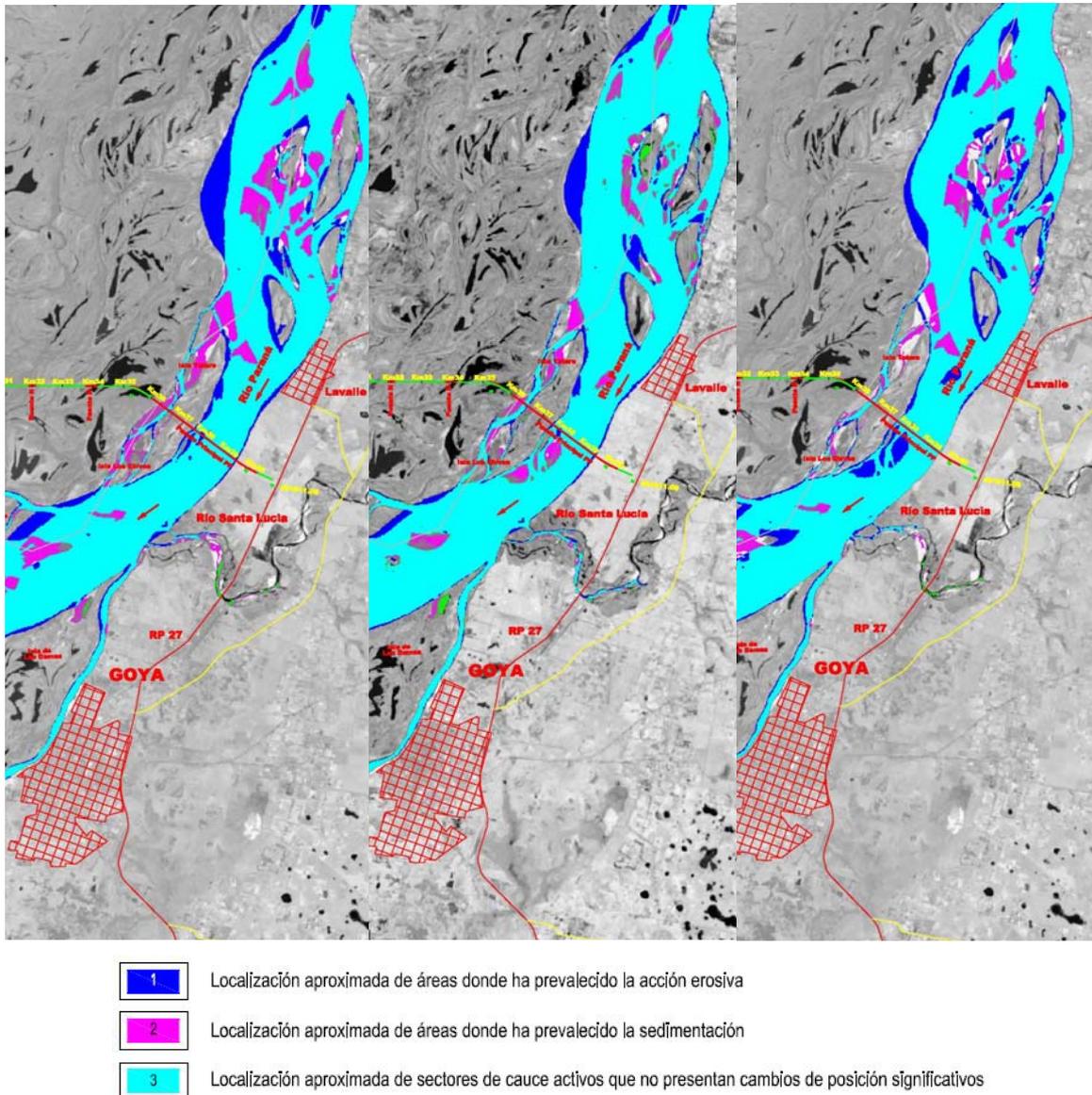


Figura 2.- Cambios en la morfología fluvial en el período 1999- 1991

A esta crecida le siguieron las crecidas de 1993, 1994 y 1995 con caudales máximos de 30250 m³/s, 31550 m³/s y 34970 m³/s, respectivamente y duraciones estimadas en 49, 73 y 23 días.

Se advierte que desde aproximadamente 15 km aguas arriba de la traza se experimentó acción erosiva que sobre la margen derecha es poco significativa en el período, del orden de 200 m aguas arriba de la localidad de Santa Lucia y de hasta 700 m frente a la misma, zona donde se ensanchó el cauce principal dando lugar a la formación de una curva que avanza la costa con dirección SO y luego dirige el flujo con dirección SE. Concomitantemente se formaron bancos e islas que contribuyeron al direccionamiento del flujo.

Aguas abajo, la acción del flujo definió actividad erosiva sobre las islas centrales y área de sedimentación intensa al norte de la isla Tataré y de los Chivos que obturaron parcialmente la

embocadura del Canal San Francisco. Sobre el canal principal se advierte la formación de bancos e islas y frente al emplazamiento de Lavalle se evidencia acción erosiva de poca envergadura con valores máximos del orden de 100 m en el período.

Aguas abajo de la traza, se bien se evidencia la acción erosiva en ambas márgenes, sobre la margen derecha es más reveladora pero comparativamente de menor envergadura que la manifestada aguas arriba de la traza. A aproximadamente 5 km aguas arriba de la localidad de Goya la migración de la margen derecha alcanzó valores del orden de hasta 200 m en el lapso y frente a la ciudad sobresale el crecimiento de las Islas Hermanas y de las Damas que obstruyeron parcialmente los cauces secundarios. Aguas abajo de la localidad de Goya, los procesos se intensificaron sobre la margen izquierda.

El subperíodo 1996-1999 está signado por la ocurrencia en primer lugar, de la crecida de 1997 que presentó un pico superior a los 41.000 m³/s en Corrientes el 10 de febrero y una duración de 87 días, seguida por la crecida extraordinaria de 1997/98 ya mencionada. Se inició en octubre de 1997, alcanzando y manteniéndose en el orden de los 30.000 m³/s con bajadas intermedias, hasta comenzar un franco ascenso a mediados de marzo, para culminar con un pico de 50.000 m³/s a principio de mayo en la sección Corrientes, superándose los niveles de alerta y evacuación en Goya y Reconquista entre febrero y junio de 1998.

En este lapso se advierte la concomitancia de acciones erosivas y de sedimentación de alta intensidad dentro del cauce principal. Desde aproximadamente 15 km aguas arriba de la traza se advierte actividad erosiva en la margen derecha que en forma continua se prolonga hasta aguas abajo de Goya. Estos fenómenos que en promedio presentan una tasa de aproximadamente 120 m en 3 años, tienen un máximo en coincidencia con la curva que se desarrolló durante la crecida de 1992 y cuyo ápice avanzó hacia el Sur entre 1996 y 1999 una distancia del orden de 700 m. En el sector central se evidencia el desarrollo de fenómenos de erosión y sedimentación sobre las islas y bancos con avance neto de las mismas en sentido SO contribuyendo al encauzamiento sobre la margen derecha.

Aguas abajo de esa curva se manifiesta intensa sedimentación que forma bancos aguas arriba de la Isla Tataré que desvían el flujo hacia la margen izquierda. Sobre ésta y en proximidades de Lavalle se advierte el ensanchamiento por avance de la margen cuyo orden es superior a los 20 m/año. Inmediatamente aguas abajo de la traza, el efecto de la crecida de 1998 se manifiesta con extensas áreas que experimentaron erosión en el cauce principal y sobre la margen derecha.

RETROCESO DE LA MARGEN CORRENTINA Y DESARROLLO DE UN MEANDRO AGUAS ARRIBA DE LA TRAZA DE LA VINCULACIÓN

Se ha realizado una comparación de la ubicación de la línea de costa en 1991 y 2007 en la margen correntina (izquierda) del Río Paraná, como lo ilustra la Figura 4, la cual permite apreciar que la costa ha retrocedido entre 100 y 300 metros según el sector.

La zona más comprometida está ubicada a unos 2 km aguas arriba de la traza, debido al proceso morfológico de meanderización que se viene desarrollando y que hace que los filetes líquidos choquen contra la costa con ángulos cada vez más pronunciados.

Este proceso ocupa gran parte de la costa y por su extensión longitudinal es de muy difícil control y es agravado por la presencia de cárcavas.

La costa se encuentra evidentemente en un estado de retroceso (Figura 5) que se acelera durante las crecidas, dado que la barranca no posee suficiente resistencia para soportar las tensiones de corte generadas por las altas velocidades del flujo.

Se ha realizado una comparación de la ubicación de la línea de costa en el período 1972 - 2007 empleando la carta del IGM de 1944, fotografías aéreas adquiridas al IGM del año 1972 y fotografías del vuelo realizado a fines de 2007 (Figura 6).

El desplazamiento de la margen resultante a la altura de la localidad de Lavalle para el período 1973 - 2007 es de aproximadamente 400 metros, lo cual implica una tasa media de unos 11 m/año. Entre 1944 y 2007 resulta de unos 800 metros (más de 12 m/año en promedio).

El proceso de incremento de la sinuosidad del cauce que se produce aguas arriba de la traza, se evaluó empleando las fotografías aéreas en escala 1:40.000 de diciembre de 2007, en comparación con la imagen satelital del año 1999.

En la Figura 7 se compara la línea de costa correspondiente al año 2007 con la carta topográfica del IGM que presenta las características del tramo en el año 1944 y resalta los cambios morfológicos experimentados en la zona en un período de 60 años.

Se evidencia la formación de bancos, islas e islotes por crecimiento en área y altura de cuerpos arenosos ya presentes en 1944, y se advierte la magnitud del proceso de deriva lateral continua de la margen derecha que alcanza valores de corrimiento de hasta 1600 m. Estos corrimientos se acompañaron de desplazamientos laterales del thalweg hacia las márgenes aluviales y definieron la formación de un meandro cuyo ápice migra hacia aguas abajo, encontrándose en 2007 a aproximadamente 7 km de la traza de la vinculación vial proyectada. Aguas abajo de esta curva, se produjo en compensación una extensa área de depósito en la margen derecha del cauce, que con máximos del orden de 1500 m, determinaron el corrimiento de las mayores profundidades hacia la margen opuesta.

La comparación permite advertir también la migración de la costa izquierda en todo el tramo presentado pero con valores de diferente cuantía: mientras en el sector norte se aprecian corrimientos del orden de la centena de metros, frente a Lavalle la migración hacia el Este alcanza valores de más de 800 m en el sector donde el flujo principal, dirigido por el meandro creado y el área de sedimentación aguas abajo del mismo, impacta sobre la costa.

El punto de impacto, que se produce a unos 2 km aguas arriba de la traza de la Conexión Vial proyectada, es también el área más profunda detectada en los relevamientos batimétricos del Río Paraná efectuados en el tramo bajo estudio, presentando cotas del lecho que son unos 15 a 20 m más bajas que las del entorno (con fuertes oscilaciones, las cuales probablemente están influenciadas por el pasaje de dunas con unos 10 m de altura medida).

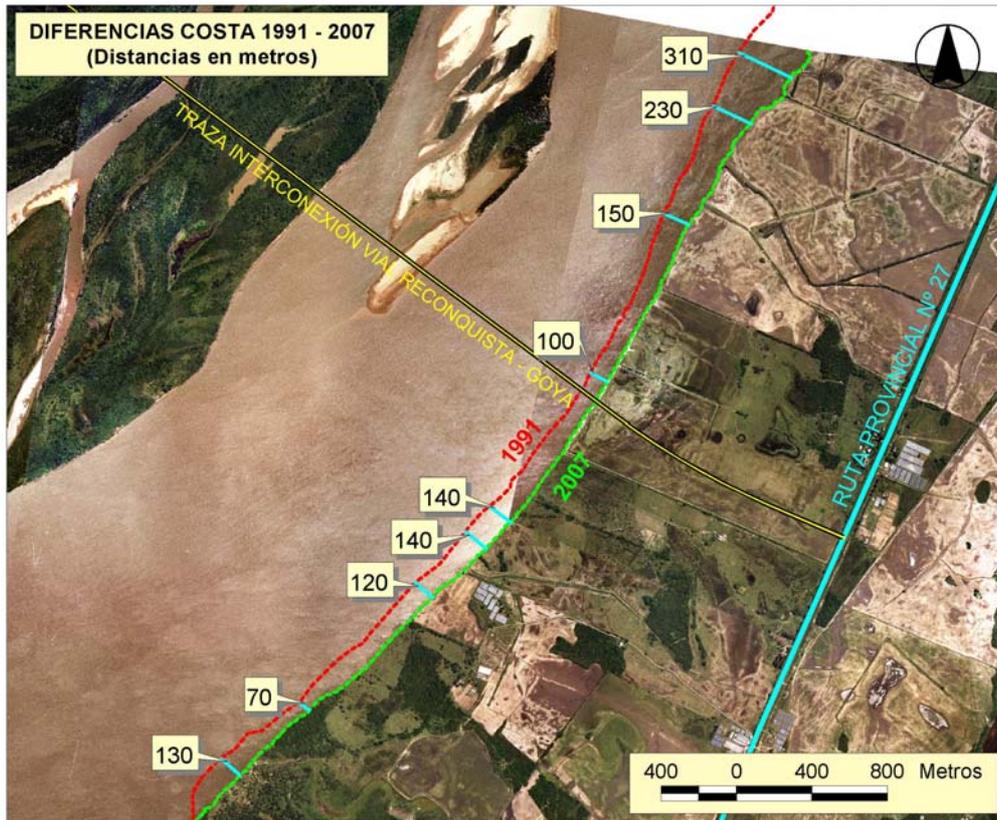


Figura 4.- Erosión costera en el período 1997-2007



Figura 5.- Características de las barrancas de Gral. Lavalle

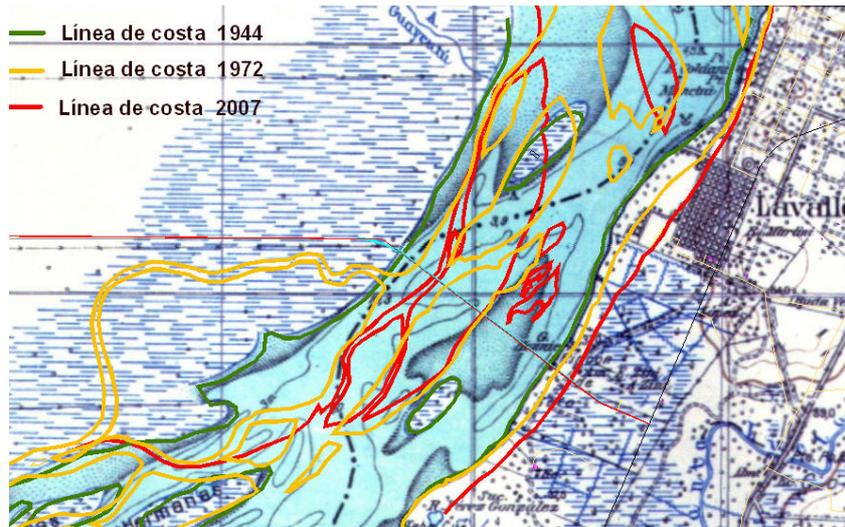


Figura 6.- Comparación de líneas de costa de 1944, 1972 y 2007

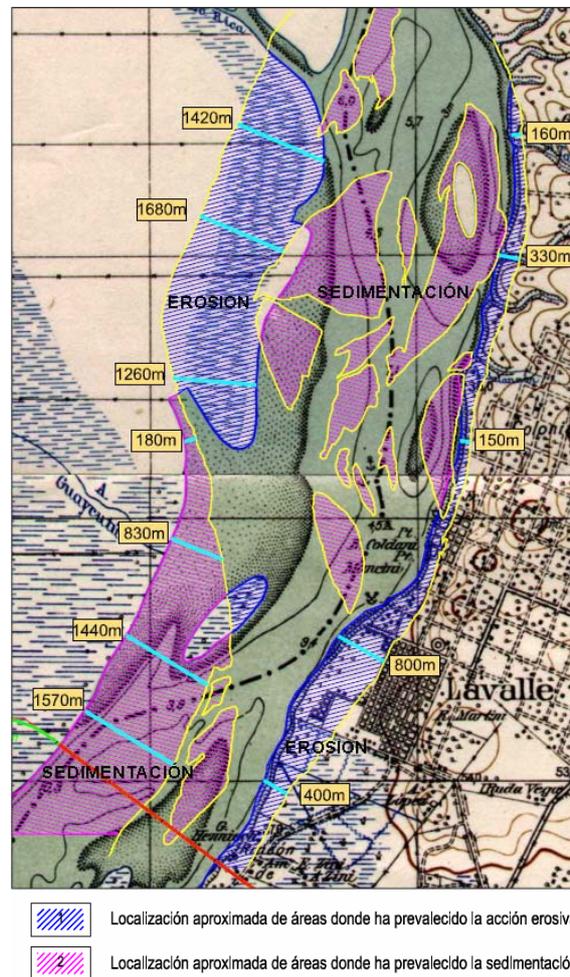


Figura 7.- Evolución Fluvial entre 1944 y 2007

La existencia de un proceso de socavación de la margen izquierda en el punto de impacto de la corriente fluvial sobre la costa, se ha verificado empleando el relevamiento batimétrico realizado en 2007 para el Proyecto de la Conexión Vial. Algunos perfiles característicos del sector izquierdo del cauce se muestran en la Figura 8 e indican que en el entorno de la traza existen secciones con profundidades del cauce en la margen izquierda muy inferiores a las

relevadas sobre la propia traza. Comparando por ejemplo el Perfil P+0, sobre la traza, su cota mínima es de 13,85 m IGM, mientras que a sólo 2 kilómetros en el perfil P-1800, la cota mínima es 20 metros más baja. Se advierte además que este último perfil presenta una sección de flujo algo más concentrada que la de la traza, debido al crecimiento de un banco de arena hacia la derecha del cauce, lo cual probablemente sea un subproducto del proceso de meanderización antes mencionado.

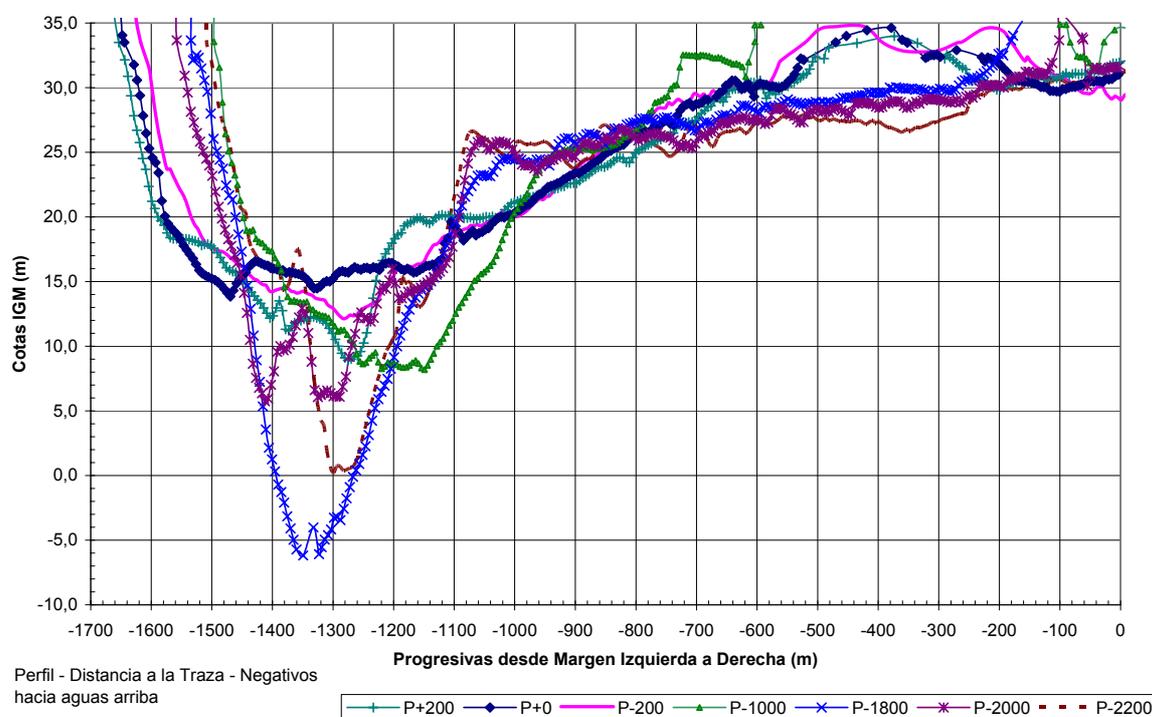


Figura 8.- Perfiles del lecho a diferentes distancias de la traza de la Conexión Vial Reconquista - Goya.

Para evaluar la posible influencia de las dunas en las oscilaciones del lecho, se efectuó el análisis de de datos de formas de fondo basado en información del Túnel Subfluvial Hernandarias, en relevamientos efectuados en la zona de cruce del Gasoducto Mesopotámico (ubicada aguas arriba de Diamante), en las mediciones realizadas en el Paso Borghi (aguas arriba de la traza de la conexión vial Rosario – Victoria), y en los perfiles longitudinales realizados por EVARSA en el área de la vinculación Reconquista- Goya en diciembre 2007.

El transporte del material del lecho en un río se produce en parte como arrastre de fondo, traduciéndose en el avance de dunas. Se ha observado en diversos estudios del Río Paraná que las alturas de dunas son en general del orden del 15% de la profundidad media de la zona de generación, con una dispersión de $\pm 5\%$.

En el tramo de análisis, las dunas más altas se encuentran en la Margen Izquierda, con alturas del orden de 8 metros, y un máximo que alcanza los 10 m (Figura 9).

Diferentes formulaciones teóricas de la razón entre la altura de duna y la profundidad, en función de la velocidad media en profundidad indican que los valores extremos pueden alcanzar alturas superiores a 0,25 veces la profundidad, para una velocidad media de alrededor de 2 m/s. No obstante, en general es muy raro que se supere una relación de altura de duna/profundidad = 0,2 para las condiciones de flujo del Río Paraná Medio.

Considerando una cota del Pelo de agua en el orden de 35 m IGM, y una cota media del lecho del orden del cero IGM, la altura de dunas máxima estaría en el orden de 7 a 9 m. Si se grafica un perfil de las profundidades mínimas de cada sección (Thalweg), se puede apreciar que en inmediaciones de la sección P-1800 podría producirse el efecto del pasaje de una duna. En la Figura 10 se grafica una línea de lecho “medio” en el Thalweg, asumiendo el pasaje de una duna de 8 m de altura, que anulara el pico observado en progresiva -2000 m desde la traza. Aún así, claramente en el Perfil P-1800 se produce un mínimo de profundidad del orden de -4,0 m, que señala que el orden de magnitud de las cota del lecho y que éstas sean muy inferiores a las que se observan en la traza, son hechos independientes de las formas de fondo que pueden superponerse al lecho medio.

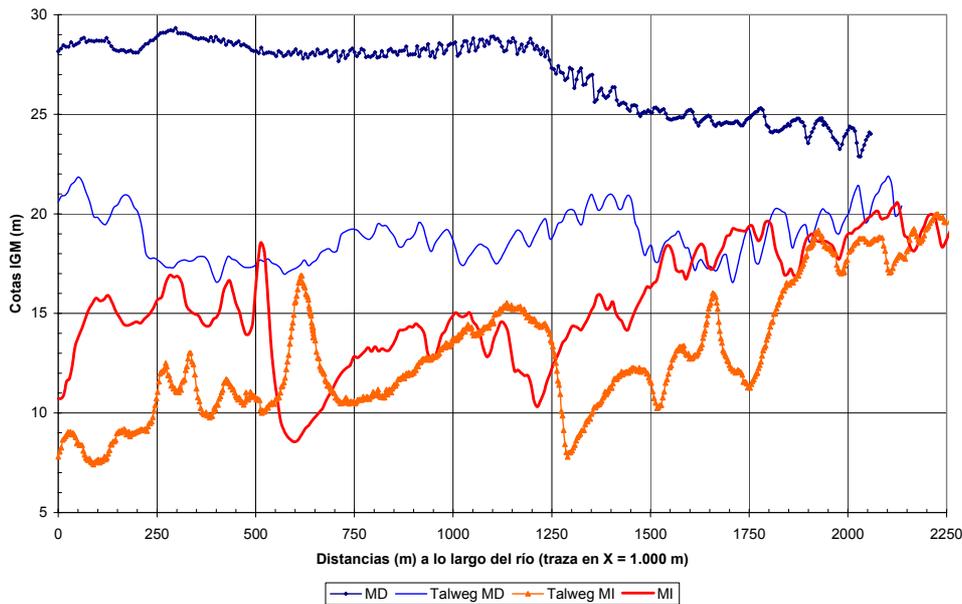


Figura 9.- Dunas medidas en cuatro perfiles longitudinales del Río Paraná

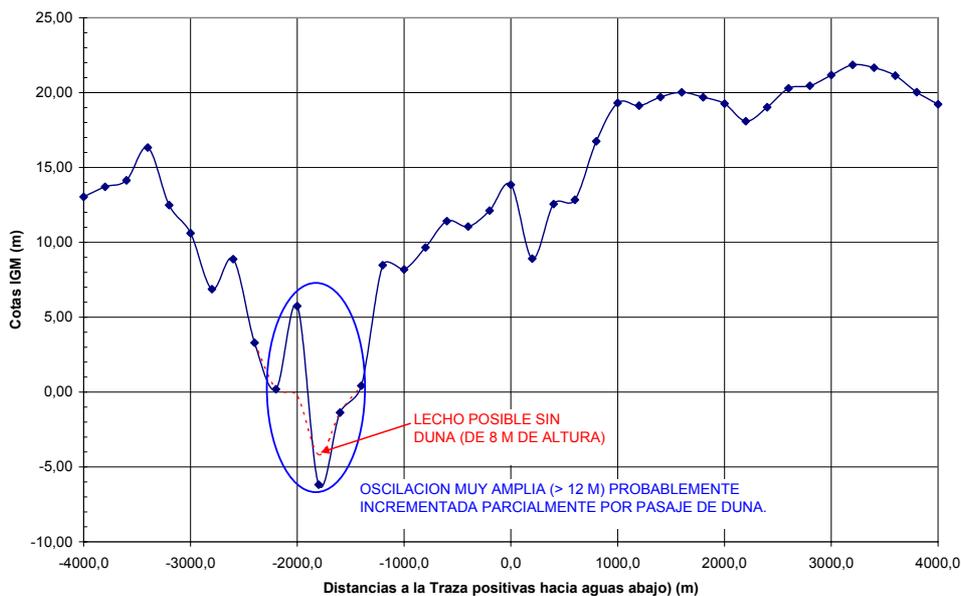


Figura 10.- Perfil del Thalweg del Río Paraná

Observando las profundidades del lecho se aprecia que pueden confluir aquí dos procesos, uno relativo a la erosión de la margen, y otro al estrechamiento del cauce por la generación de un banco. El proceso dominante aquí resultaría ser la erosión de la margen por encontrarse en la “curva” exterior de un meandro en evolución, dado que el estrechamiento no resulta muy diferente en la traza y a 1800 m de la misma.

CONCLUSIONES

El análisis efectuado reafirma la tendencia del río Paraná como río aluvial a formar meandros, que desde una perspectiva morfológica es tan acentuada como su proclividad al desarrollo de bancos, y muestra las modificaciones introducidas por el paso de las crecidas como el intenso retroceso local de la margen derecha en Lavalle producido durante el evento extraordinario de 1991/1992 que dio lugar al aumento del ancho efectivo del cauce en ese sector y que luego estuvo compensado por el avance de los bancos centrales.

Las comparaciones realizadas evidencian que en el complejo reajuste de la morfología del cauce en busca de un nuevo equilibrio dinámico, en el que la morfología del cauce responde al aumento del caudal dominante, también interviene la gran energía incorporada al sistema por las crecidas, que dependiendo de su duración y distribución temporal interna originan diversas modificaciones en la morfología del sistema.

El tramo en estudio muestra importantes procesos de erosión de márgenes en proximidades de la localidad de Lavalle, estimándose en ese sector una tasa de retroceso promedio de las márgenes superior a 10 metros/año.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Giacosa, R., Paoli, C. y Cacik, P. (2000): “Conocimiento del Régimen Hidrológico”, en *El Río Paraná en su Tramo Medio. Contribución al Conocimiento y Prácticas Ingenieriles en un Gran Río de Llanura*. Centro de Publicaciones, Paoli, C. y Schreider, M. (Editores) Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.

Chang, H. H. (1988): *Fluvial Processes in River Engineering*. J. Wiley and Sons, New York, USA.

Ceirano E. y Zucarelli, V. (2000): Estimación del potencial de energía de crecidas del Río Paraná. *XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Córdoba, Argentina.

Farias, H. D., (1996): "Formulación Semi-Empírica de la Estabilidad Lateral en Canales Aluviales Estables", *XVI Congreso Nacional del Agua*, San Martín de Los Andes, Neuquen, Argentina, Noviembre 1996.

Knighton, D. (1984): *Fluvial Forms and Processes*. Arnold Publ. & J. Wiley and Sons, London, UK.

Leopold, L. B. , Wolman, M. G. & Miller, J. P. (1964): *Fluvial Processes in Geomorphology*. Dover Publications, Inc. New York, USA.

Maza Alvarez, J.A. (1988). *Introduction to River Engineering*. Università Italiana per Stranieri, Perugia, Italia.

Neill, C. R. (Editor) (1975): *Guide to Bridge Hydraulics*. Project Committee on Bridge Hydraulics of RTAC. Roads and Transportation Association of Canada, University of Toronto Press, Toronto, Canada.

Paoli, C. y Schreider, M. (Editores) (2000): *El Río Paraná en su Tramo Medio. Contribución al Conocimiento y Prácticas Ingenieriles en un Gran Río de Llanura*. Centro de Publicaciones, Univ. Nac. del Litoral, Santa Fe, Argentina.

Przedwojski, B., Blazejewski, R. & Pilarczyk, K.W. (1995). *River Training Techniques*. A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, The Netherlands.

Ramonell C., Amsler, M. y Toniolo, H. (2000): “Geomorfología del Cauce principal”, en *El Río Paraná en su Tramo Medio. Contribución al Conocimiento y Prácticas Ingenieriles en un Gran Río de Llanura*. Centro de Publicaciones, Paoli, C. y Schreider, M. (Editores) Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.

Rosgen, D. & Silvey, H. (1996): *Applied River Morphology*. Wildland Hydrology, Pagosa Springs, Colorado, USA.

Schumm, S. A. (1977): *The Fluvial System*. Ed. John Wiley and Sons, New York, USA.

Schumm, S. A. (1985): Patterns of Alluvial Rivers. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. Vol. 13, pp. 5-27.

Serman & asociados s.a. para Puentes del Litoral S.A. (mayo 2000): *Estudio Hidráulico del Puente Principal y Viaducto Este*, GG-ME-201b.

Thorne, C.R. (2002). “Geomorphic analysis of large alluvial rivers”. *Geomorphology*, Vol. 44, pp. 203–219

Toniolo, H. A. (1999): *Las Divagaciones del Thalweg del Río Paraná*. Tesis de Magister en Ingeniería de los Recursos Hídricos. FICH – UNL, Santa Fe, Argentina.

Yalin, M. S. & Ferreira da Silva, A. M. (2001): *Fluvial Processes*. IAHR Monograph. International Association for Hydraulic Engineering and Research. Delft, The Netherlands.