

CAMBIOS MORFOLÓGICOS DEL CAUCE PRINCIPAL DEL RÍO PARANÁ EN ARGENTINA, SIGLO XIX A LA ACTUALIDAD

MORPHOLOGICAL CHANGES OF THE MAIN CHANNEL OF THE PARANÁ RIVER IN ARGENTINA, FROM NINETEENTH CENTURY TO THE PRESENT

Franco S. Sobrero¹, Carlos G. Ramonell¹ y Ma. Soledad Pereira¹

Resumen

El cauce principal del Río Paraná entre las ciudades argentinas de Corrientes y Rosario presenta una morfología algo heterogénea y muy dinámica, a lo largo de sus cerca 800 km de longitud. La cartografía histórica existente en este tramo es de gran utilidad para justipreciar su evolución morfológica espacial y temporal. Potencialmente, sectores sucesivos del río están afectados por factores que los condicionan, tales como el caudal, la erodabilidad de las márgenes, etc., y en este trabajo se segmentó el tramo completo atendiendo a indicadores de esas variables, como ser: cauces secundarios que implican derivaciones significativas de caudales, tipos de sedimentos que aparecen en las márgenes y sus cercanías, pendiente del cauce, entre otras. De esta manera se reconocieron 13 segmentos del cauce en el tramo, cuyas longitudes oscilan entre los 35 km y los 70 km. En ellos se evaluaron diversos parámetros morfológicos en 5 momentos de los últimos casi 160 años (1847, 1913, 1939, 1969 y 2011), a saber: ancho efectivo, profundidad y sinuosidad del thalweg, y parámetro de entrelazamiento. Los mecanismos generales de formación y reemplazo de islas en los 13 segmentos también fueron analizados, distinguiendo frecuencias características entre 3 tipos de formas de generación de islas. Se encontró que los segmentos poseen, en general, valores medios distintos entre sí, y variables en el tiempo. Existe una clara tendencia a la disminución del ancho efectivo promedio en la dirección del escurrimiento, sostenida en todo el período considerado, junto al aumento de la profundidad media del thalweg, que se registra sólo para los últimos 500 km del tramo. Un único segmento resultó tener márgenes estables en relación a los demás, aunque en él ocurrió la mayor tasa de recambio de islas. La resistencia a la erosión de las márgenes en ese subtramo, limitando la movilidad y meandrificación del thalweg que caracteriza la morfodinámica básica del cauce del Paraná, explicaría tales cualidades.

Palabras Claves: Grandes ríos, Río Paraná, cambio morfológico fluvial

Abstract

The main channel of the Paraná River between Corrientes and Rosario has a heterogeneous and dynamic morphology in all its 800 km-length. Historical charts are useful in the analysis of its morphologic evolution, in time and space. Each sector of the river is affected by control variables, such as discharge, bank erodability, etc.; we segmented the overall length by using indicators of those variables: major secondary channels implying flow diversion, sediment types at or near channel banks, etc. Thirteen channel segments were recognized in this way, ranging between 35 and 70 km-length. Some morphological parameters of the main channel were evaluated in five periods of the last 160 years (1847, 1913, 1939, 1969 y 2011): effective width, thalweg depth, thalweg sinuosity and braiding index. The development and replacement of channel islands were also analyzed, according to different models of island constructions. Each channel segment had characteristic mean values of the morphological parameters, and non-uniform temporally. There is a clear trend in decreasing mean effective channel width in a downstream direction throughout the entire period; average thalweg depth increase downstream also, but only in the lower 500 km of the entire reach. Only one segment had stable banks as compared with the others, although the replacement of the channel islands by erosion and sedimentation processes was the most important of the reach. The low bank erodability in such segment, limiting the capacity of the channel thalweg for shifting and meandering, would explain such properties.

Keywords: Large rivers, Paraná River, fluvial morphological changes

INTRODUCCIÓN

El Río Paraná es uno de los grandes sistemas fluviales del planeta, y comparte con los de esta categoría un patrón de cauce múltiple (“anabranching”) en torno a islas de dispar tamaño, lecho arenoso y baja pendiente, del orden del cm/km (Latrubesse, 2008). Su cauce principal aguas abajo de la confluencia del

Río Paraguay (en donde se inicia el “tramo medio” del río, Fig. 1) ha sido objeto de varios estudios de evolución morfológica, entre los que se destacan los de Cabral (1973), Popolizio et al. (1980), Toniolo (1999), Ramonell et al. (2000), Amsler et al. (2005), Castro (2007) y FICH (2008, 2012), por ser los más

¹ Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (Universidad Nacional del Litoral). francosobrero@gmail.com; cgramonell@yahoo.com.ar, nacionsoal@yahoo.com.ar

extensivos tanto en la longitud de los tramos considerados como en las series de tiempo analizadas, que llegan a cubrir gran parte del siglo XX.

Una parte de esos trabajos vincularon los cambios históricos detectados con variaciones en el caudal formativo o dominante del río (e.g., Amsler et al., 2005), que a lo largo del siglo XX osciló entre los aproximadamente 24.400 y 16.400 m³/s en las partes del río donde el flujo está concentrado en un cauce único o de varios brazos relativamente cortos, y los 15.400 a 12.500 m³/s en las secciones en las que el cauce principal coexiste con brazos secundarios

importantes, de gran longitud y persistencia a través del tiempo.

En tal sentido, es bien conocido que los cauces aluviales suelen ser afectados por más controles en la dirección del escurrimiento, que pueden condicionar sus dimensiones y cambios morfológicos de manera diferencial en segmentos sucesivos. Por tal razón, resulta apropiado segmentarlos en subtramos, a fin de indagar sobre el grado de influencia de la suma de controles en la morfodinámica fluvial, o de individualizar, siguiendo fines aplicados, las partes morfológicamente más estables o inestables de un río.

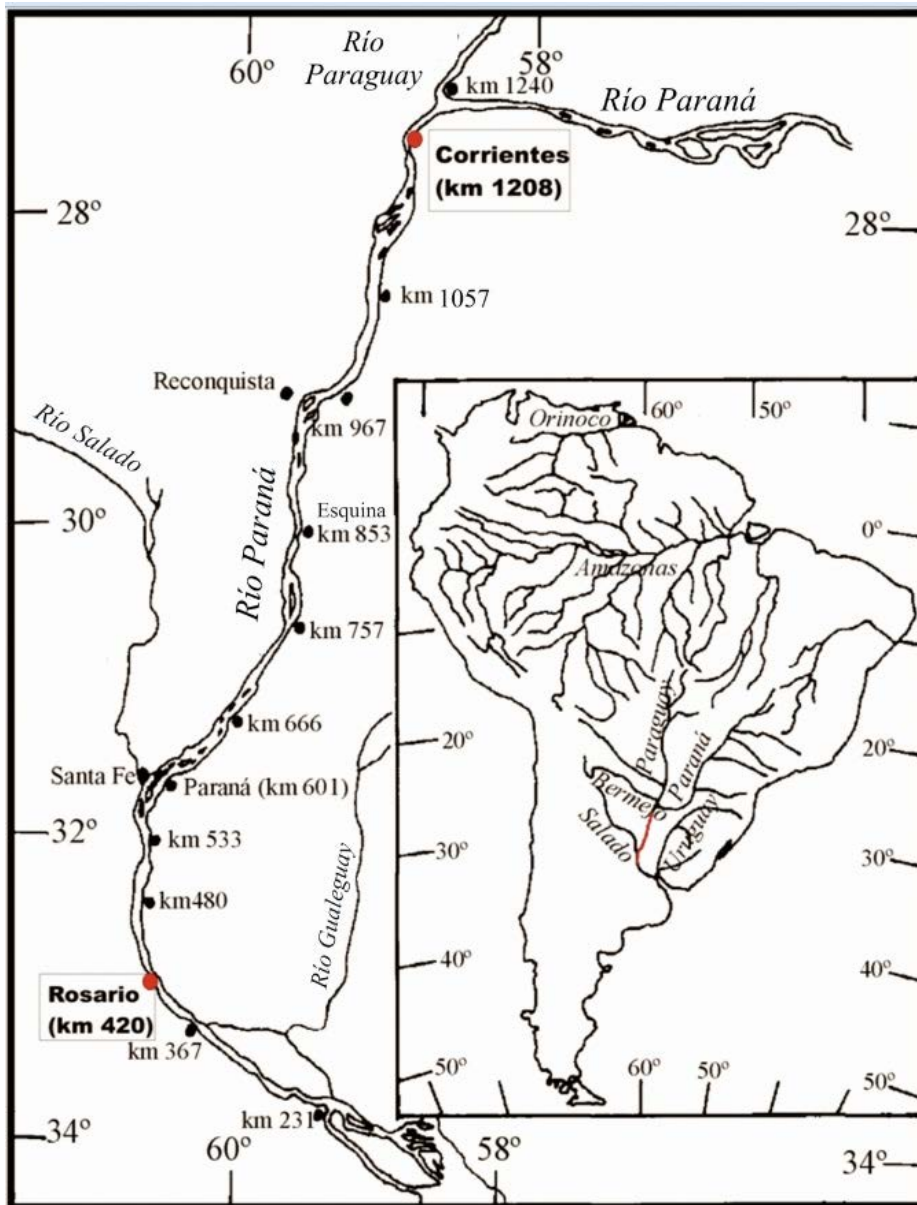


Figura 1. Ubicación geográfica del tramo medio del Río Paraná, entre los km 1208 (Corrientes) y 420 (Rosario) de la ruta de navegación fluvial.

En el caso del Paraná existen muy pocas propuestas de segmentación, siendo una de las primeras la de Iriondo (1988), basada exclusivamente en cambios de la pendiente media del cauce principal. En este trabajo se presenta una nueva diferenciación de segmentos atendiendo a una franja más amplia

de factores de control, a partir de la cual se evaluó la evolución de algunos parámetros morfológicos desde cartografía de pequeña escala (1:50.000 a 1:100.000), la más antigua correspondiente a mediados del siglo XIX, hasta la actualidad.

Ese material permitió cuantificar magnitudes del cauce en la totalidad del tramo medio a la vez, lo que se complementó con análisis de los cambios morfológicos desde imágenes satélite de los últimos casi 40 años, siendo la caracterización temporo-espacial de estas variables, discriminadas en los segmentos reconocidos, el principal objetivo de esta contribución.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los registros cartográficos utilizados como fuente básica de información fueron:

- Año 1847: Mapa de navegación confeccionado por el Capitán Sullivan a bordo del HMS Philomel, desde Corrientes hasta Rosario, escala 1:84.000.
- Año 1913: Planos de navegación del Río Paraná entre Corrientes y Esquina (Km 853), y Esquina y la Desembocadura. Ministerio de Obras Públicas de la Nación (MOP). Dirección General de Obras Hidráulicas. Comisión del Paraná Inferior, escala 1:100.000.
- Año 1939: Río Paraná entre la Desembocadura y la Confluencia del Río Paraguay (11 láminas). MOP. Dirección General de Navegación y Puertos, escala 1:100.000.
- Año 1969: Cartas de navegación del Río Paraná (desde Corrientes hasta Rosario). Secretaría de Obras Públicas. Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables, escala 1:50.000.
- Año 2011: Mosaico compuesto por 5 imágenes Landsat 5, tomadas los días 15 y 26 de Enero de 2011, georreferenciadas con errores absolutos menores a 1 píxel (30 m x 30 m). Los datos planimétricos extraídos del mosaico fueron complementados con valores de profundidad obtenidos de relevamientos batimétricos efectuados por FICH en 2004, 2005, 2006 y 2011, y otros facilitados por el Departamento Paraná Medio de la Dirección Nacional de Vías Navegables del año 2010.

Cabe aclarar que las cartas de navegación correspondientes a 1913, 1939 y 1969 son compilaciones que involucran relevamientos efectuados en tales años y hasta de ca. 10-15 años antes, manteniéndose en este trabajo la referencia del año de edición, sólo por fines prácticos. Igualmente, para el registro de "2011" se conserva tal denominación, hecha ya la aclaración sobre los años en que se midieron las profundidades.

Con el fin de determinar si los registros cartográficos fueron confeccionados con un grado de precisión que permitiera obtener datos confiables, se evaluaron sus propiedades intrínsecas en dos etapas: en primer lugar se midieron sobre la cartografía histórica distancias entre localidades y entre ellas y puntos que hayan perdurado en el tiempo, tales como barrancas poco susceptibles a la erosión (las denomi-

nadas "puntas" del río), para luego compararlas con las obtenidas del mosaico georreferenciado de imágenes Landsat y con cartas topográficas del Instituto Geográfico Nacional, utilizadas como contralor; en base a estas comparaciones se calcularon los errores relativos de las distancias.

En segundo lugar se procedió a la medición de azimuts de las alineaciones entre los puntos mencionados previamente para verificar la fiabilidad de los canevas geográficos y controlar sus escalas en relación a la de la cartografía. Se verificó por esta vías que la cartografía resultaba confiable, ya que los máximos errores en las distancias planimétricas fueron del 13 % en el registro de 1847, e inferiores al 9 % en los demás.

A partir de ello se evaluaron los siguientes parámetros morfológicos para cada "año":

- Ancho efectivo del cauce principal (sin considerar islas centrales), B_0 . Medido cada 2 km, considerando cauce principal al brazo del río que contenía al thalweg, más todos los brazos conectados en ambos extremos con él, que fueran relativamente cortos y de anchos individuales iguales o mayores a tres veces el ancho de la isla adyacente.
- Profundidad del thalweg, h_0 . Registrada puntualmente cada 2 km, a lo largo de la línea del thalweg. En las cartas de 1969 se detectaron valores de profundidad puntual anómalos para lo conocido del río, por lo que el parámetro no fue tenido en cuenta para tal año.
- Sinuosidad del thalweg, $Pt = Lt/Lr$.
- Parámetro de entrelazamiento, $PE = \sum Li/Lt$ (s. Mosley, 1981).

Siendo:

Lt: Longitud del thalweg.

Lr: Longitud rectificada del cauce principal.

Li: Longitud total de los brazos adyacentes al del thalweg. Este valor se obtuvo de la suma de las longitudes de todos aquellos canales relativamente cortos del cauce principal que cumplen la condición de que su ancho es mayor o igual a 3 veces el ancho de la isla adyacente.

De este modo, 4400 datos fueron medidos desde la cartografía de pequeña escala.

Paralelamente a las mediciones se hicieron observaciones cualitativas sobre la naturaleza de los cambios detectados cuantitativamente, tanto en el tiempo como en la longitud completa del tramo, con énfasis en evaluar las transformaciones de las islas del cauce principal desde 1913 en adelante.

Con relación a la tramificación del cauce se tuvieron en cuenta tres variables que condicionan la morfodinámica fluvial, ampliamente consensuadas en la literatura: el caudal líquido, la erodabilidad del material de la margen, y la pendiente, tanto la regional de la planicie aluvial como la general relativa al cauce. Dado que la información antecedente sobre estos

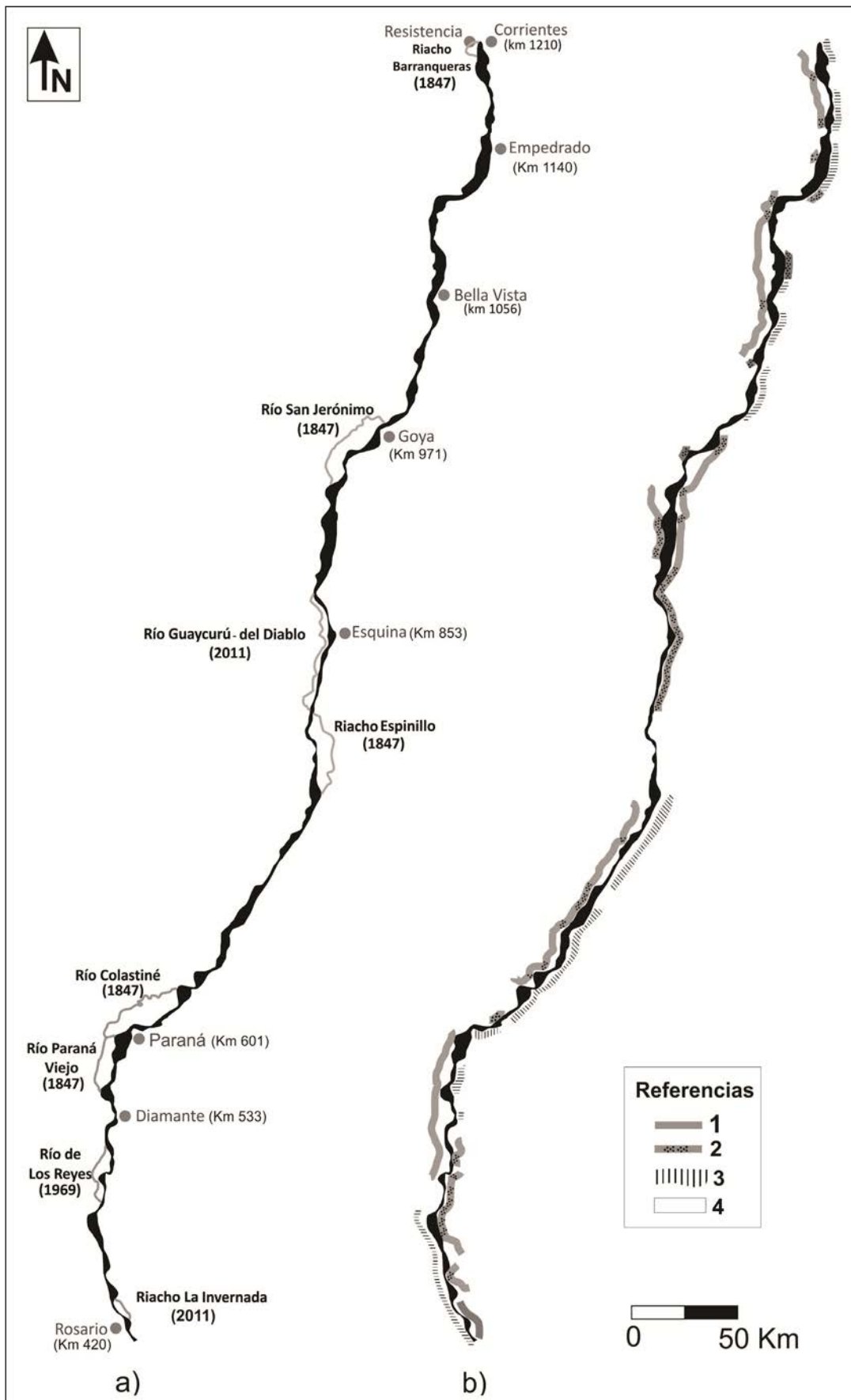


Figura 2. a) Ubicación de los brazos secundarios considerados en la delimitación de segmentos del cauce principal (los datos de años se explican en el texto). b) Tipo de material de las márgenes: 1: Material aluvial cohesivo (resistente a la erosión) ubicado distante de la margen actual del cauce. 2: Material aluvial cohesivo (resistente) que constituye la margen actual. 3: Margen con formaciones geológicas antiguas (del Terciario y Cuaternario Inferior), resistentes. 4: Material aluvial friable (arenas y/o finos de depositación moderna).

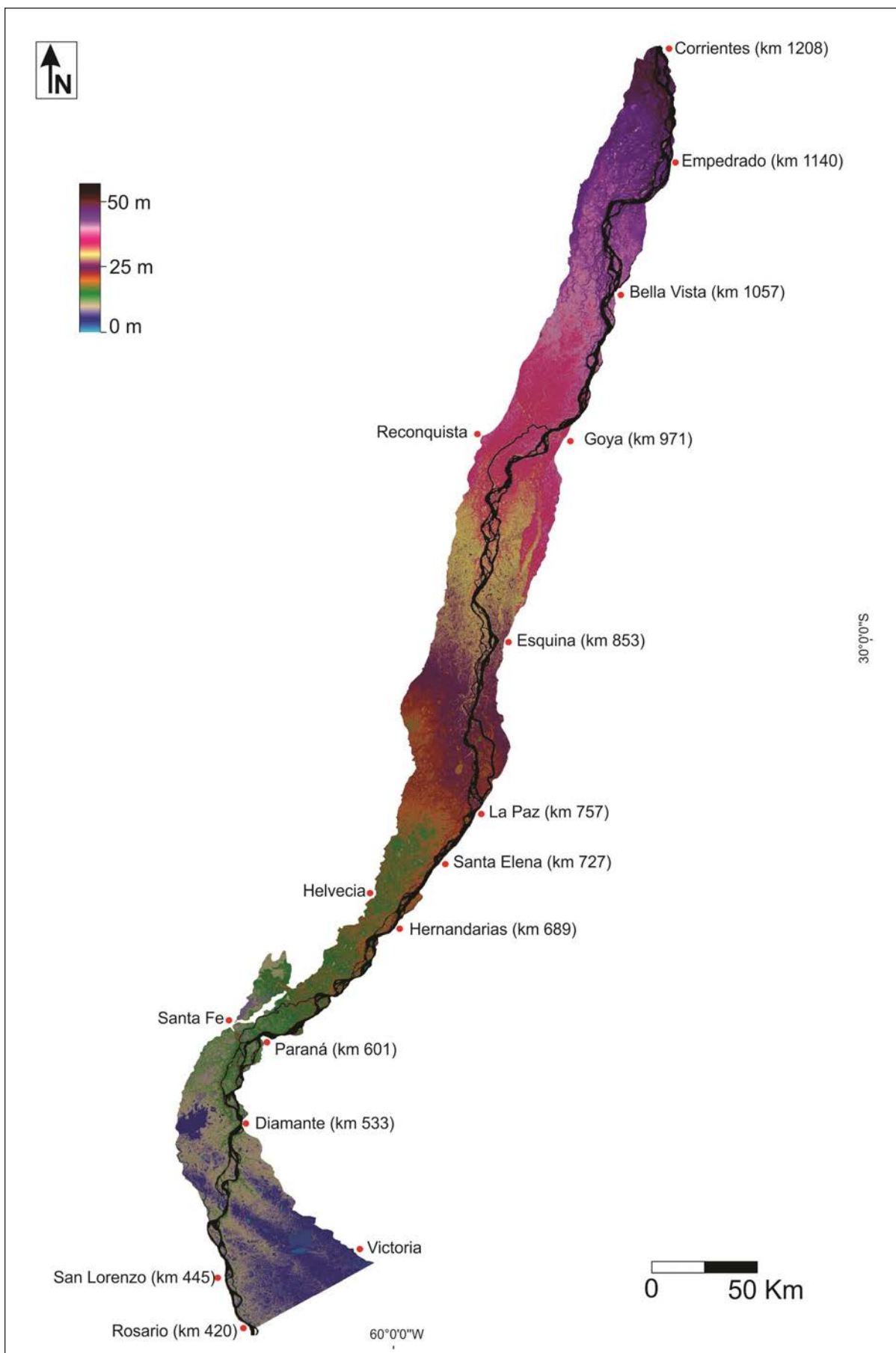


Figura 3. Modelo digital de terreno de la planicie de inundación del Río Paraná Medio.

parámetros es escueta en toda la longitud considerada del río, se adoptaron indicadores de esas variables de control.

Así, y atendiendo a que el tramo medio no posee aportes significativos de caudales líquidos desde los tributarios a su valle (Giacosa et al., 2000), se identificaron subtramos con variaciones de caudal por la presencia de brazos secundarios que nacen y desembocan en el cauce principal luego de recorridos “largos”, esto es, manteniéndose independientes del mismo por longitudes que comúnmente son de varias decenas de kilómetros (Fig. 2a).

Parte de los cauces secundarios delineados en la Fig. 2a ya estaban configurados como tales a mediados del siglo XIX (Ramonell et al., 2000), mientras que unos pocos adquirieron su “independencia” del cauce principal en tiempos posteriores. Entre estos últimos pueden mencionarse el Río de Los Reyes, distinguible del principal hacia 1969, y el Riacho Guaycurú – del Diablo, en vías de formación hacia la actualidad. La característica común en todos ellos es que el thalweg del río no ha intervenido directamente en la morfología de sus trazas desde hace décadas, y que sus caudales encauzados son aproximadamente uniformes a lo largo de sus trazas, como se deduce de la persistencia de sus anchos, habida cuenta la falta de aforos sistemáticos en la mayoría de ellos.

Los años de registros cartográficos a partir de los cuales estos brazos se consideraron independientes del cauce principal fueron, nombrándolos de norte a sur (entre paréntesis se consignan sus anchos característicos):

- Riacho Barranqueras: existente hacia 1847 (ha mermado su ancho a lo largo del siglo XX, hasta los 120 a 150 m actuales).
- Riacho San Jerónimo: existente hacia 1847 (anchos frecuentes: 550 a 600 m).
- Riacho Guaycurú - del Diablo: 2011 (600 m).
- Riacho Espinillo: existente hacia 1847 (ca. 700 m).
- Riacho Correntoso: configurado hacia 1913, posee también escasa longitud (ancho frecuente: 300 m).
- Río Colastiné: existente hacia 1847 (350 m).
- Río Paraná Viejo: existente hacia 1847 (500 m).
- Río de Los Reyes: configurado como brazo “independiente” hacia 1969 (500 m).

Por su parte, la diferente resistencia a la erosión de las márgenes fue vinculada a la presencia de barrancas con formaciones geológicas del Terciario y Cuaternario Inferior, junto a sedimentos cohesivos de la planicie aluvial (limos y arcillas de ambiente fluvial depositados en lagunas o pantanos), todos ellos resistentes en comparación a los materiales arenosos y/o finos de sedimentación más moderna, de características friables.

La Fig. 2b muestra la distribución actual de tales márgenes en el tramo medio, y fue elaborada en base a

reconocimientos de campo, interpretaciones de imágenes aéreas y evaluación de antecedentes geológicos y de geotecnia realizadas por los coautores. Dado que los sedimentos aluviales resistentes en la planicie se encuentran tanto formando las márgenes del río como también alejados de ellas (con materiales friables entre medio), en la Fig. 2b se marcaron sus posiciones en el interior de la planicie cuando yacían a cierta distancia del cauce principal, de pocos kilómetros.

En cuanto a las pendientes, se tuvieron en cuenta para la segmentación el “perfil hidráulico” del cauce elaborado por Soldano (1947) más datos del extinto Ministerio de Obras Públicas de la Nación, junto a un modelo digital de elevación del terreno de la planicie de inundación que se reproduce en Fig. 3.

Además de los indicadores mencionados, se consideraron límites adicionales debido a la existencia de rasgos conspicuos de la planicie de inundación del río, como ser las zonas donde cambian sustancialmente la frecuencia y tamaño de lagunas fluviales (ca. del km 970, Minotti et al., 2013), o en la que existen resaltos topográficos singulares en contrapendiente (km 690 y km 640, Ramonell et al., 2000) y marcadas variaciones de anchura de la planicie (Fig. 3).

En torno a esas partes distintivas del río es dable esperar modificaciones del flujo de inundación que complementan a las del escurrimiento encauzado a través de sus brazos secundarios, como las demostradas recientemente por Ramonell y Cristina (2014), quienes detectaron efectos de concentración del flujo de crecida en el cauce principal en Hernandarias (km 689), y fenómenos de remanso en esa parte más estrecha y con resaltos de la planicie.

En este marco, es importante aclarar que los límites de los tramos definidos a partir de todas estas propiedades son aproximados, habida cuenta que los indicadores de las variables de control tienen diferente persistencia temporal: por caso, la embocadura del Río San Jerónimo (km 970, Fig. 2) cambió su ubicación en decenas de kilómetros durante los 160 años estudiados, o el Riacho Guaycurú – del Diablo, cuya “independencia” del brazo que contiene al thalweg ha sido adquirida últimamente.

En otras palabras, la segmentación por caudal se realizó tanto considerando la situación hidrográfica actual (2011) como la devenida de las zonas con grandes lagunas, que existen como áreas bajas de la planicie desde hace centurias o aún mucho más.

RESULTADOS

El primer resultado alcanzado fue la segmentación del cauce principal en 13 tramos (Fig. 4), cuyas longitudes oscilan entre los 35 km y 70 km aproximadamente. En la Tabla 1 se han resumido datos relativos a los indicadores de las variables de control potencial en cada tramo, que complementan los datos de cambios de pendiente regional que se visualizan en el mapa de la Fig. 3.

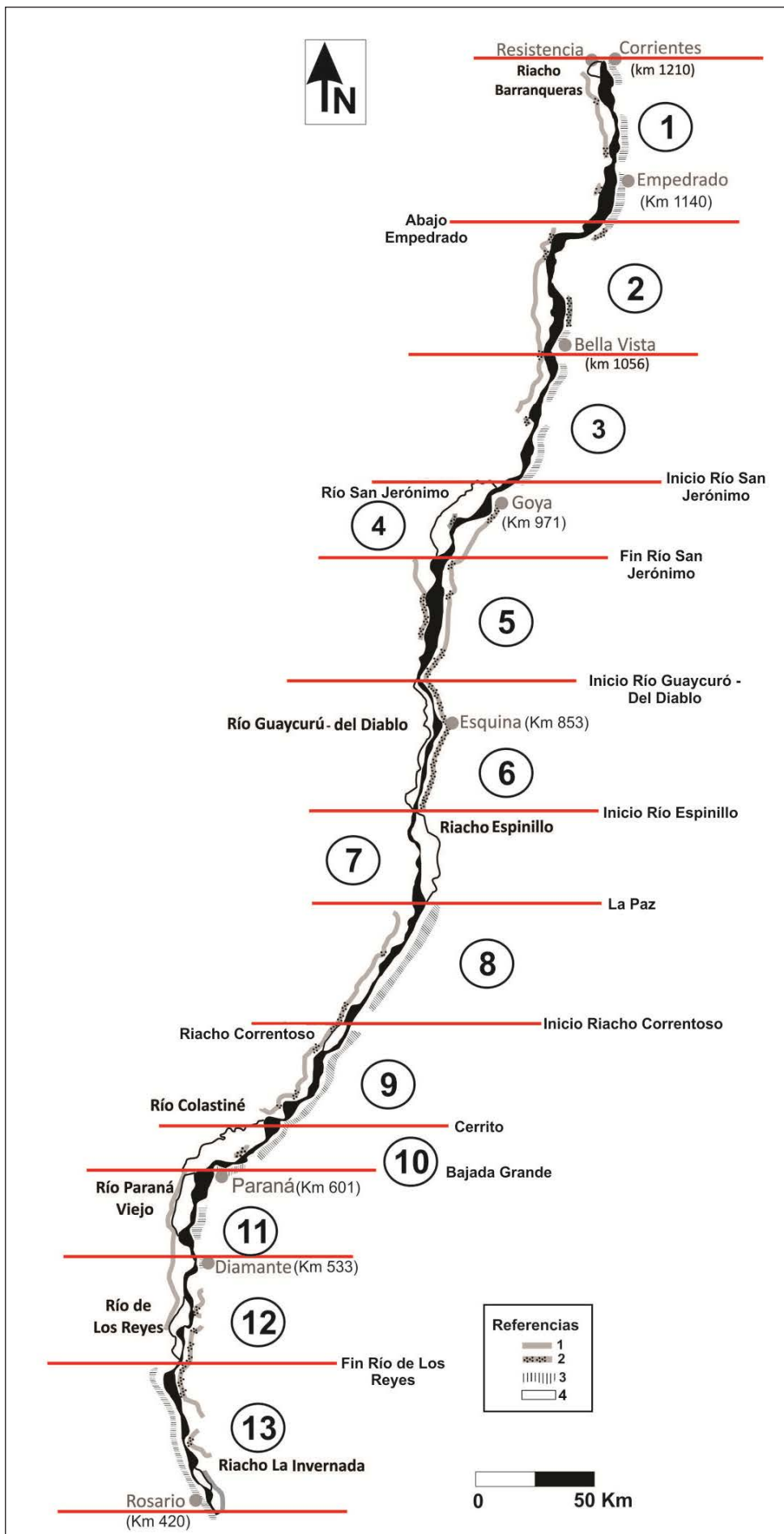


Figura 4. Segmentos diferenciados del cauce principal en el tramo medio.

Tabla 1.- Síntesis de variables de control morfológico en los segmentos del cauce principal del Paraná (Fig. 4). El material de la margen se consigna como porcentaje de la longitud de los segmentos; Tc y Qi: formaciones geológicas del Terciario y Cuaternario Inferior; Aluv. Fr. – Coh.: Aluvio friable – cohesivo.

Seg- mento	Lon- gitud (km)	Material de la margen (%)						Derivaciones significativas de Caudal	Pendiente del cauce (m/km)	Singulari- dades de la Planicie de Inundación
		Margen Izquierda			Margen Derecha					
		Tc y Qi	Aluv. Fr.	Aluv. Coh.	Tc y Qi	Aluv. Fr.	Aluv. Coh.			
1	67	67	24	9	-	88	12		0,039	Baja densidad de lagunas
2	60	11	68	22	-	86	14	-	0,060	
3	67	67	33	-	-	90	10	-		
4	45	-	85	15	-	92	8	Río San Jerónimo	0,064	Presencia de grandes lagunas y bajíos
5	53	-	71	29	-	64	36	-		
6	55	-	-	100	-	100	-	Río Guaycurú – del Diablo	0,058	
7	43	14	86	-	-	100	-	Riacho Espinillo		
8	58	77	23	-	-	80	20	-	0,043	
9	48	100	-	-	-	79	21		0,039	
10	35	72	28	-	-	85	15	Río Colastiné		Salto topográfico
11	43	37	63	-	-	47	53	Río Paraná Viejo	0,041	Presencia de grandes lagunas y bajíos
12	44	6	57	37	-	92	8	Río de Los Reyes	0,039	
13	55	-	80	20	100	-	-	Riacho La Invernada	0,025	

La medición de los parámetros morfológicos del cauce principal de la manera expuesta en el ítem previo, permitió obtener valores promedio de ellos en

cada tramo para los cinco “años” estudiados, con los cuales se confeccionaron las gráficas de la Figura 5 (a-d).

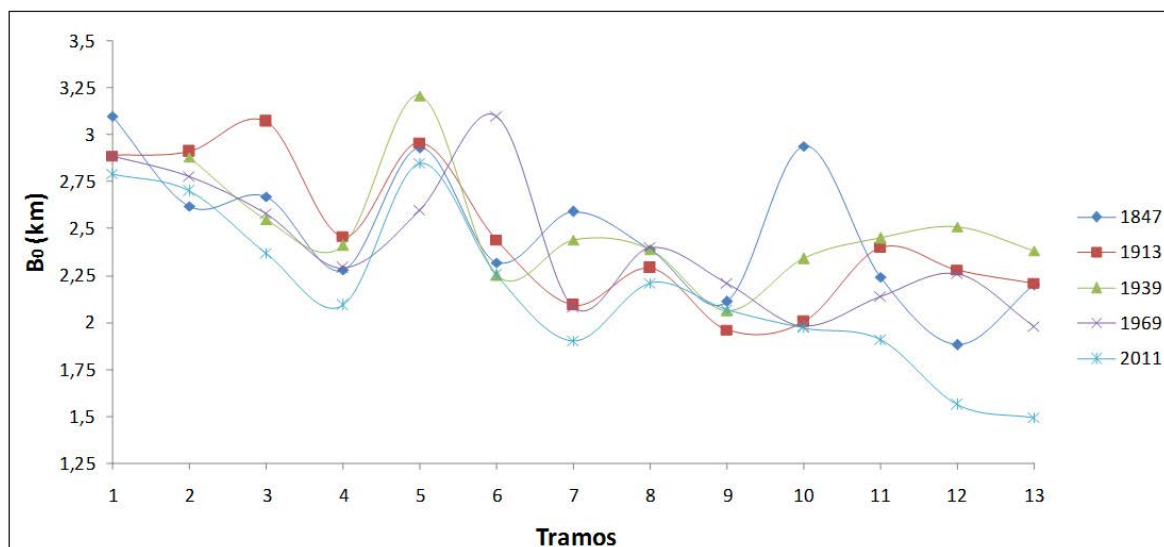


Figura 5a. Ancho efectivo medio, B_0 , por tramos, del cauce principal.

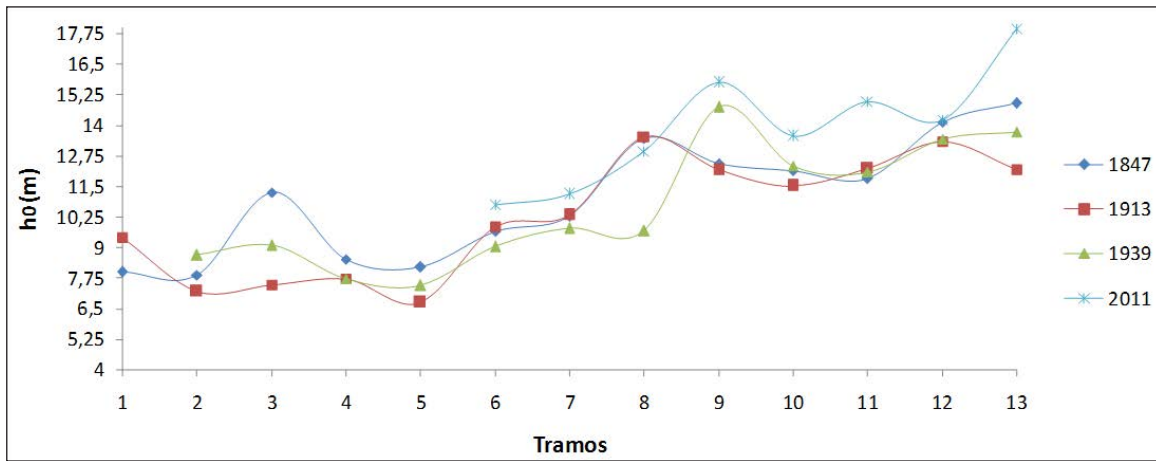


Figura 5b. Profundidad media, h_0 , por tramos, del thalweg.

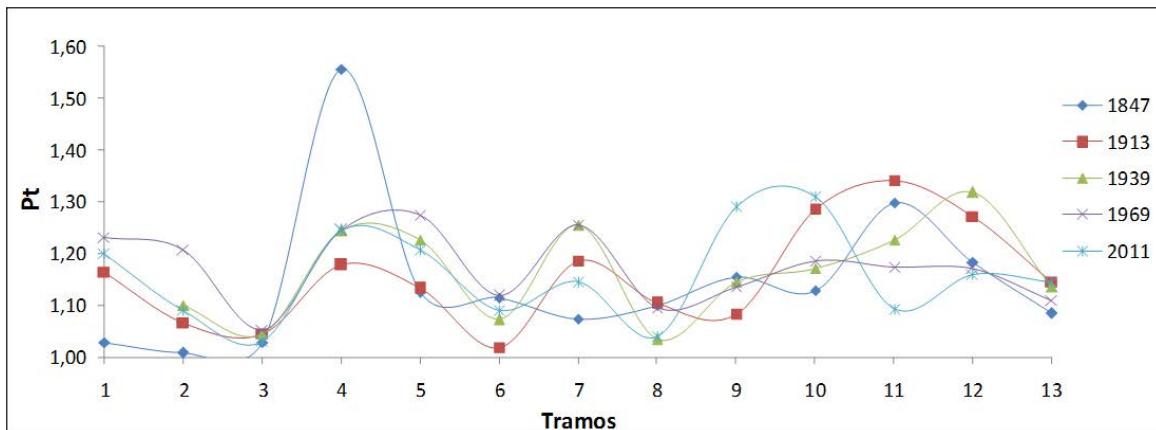


Figura 5c. Sinuosidad del thalweg, P_t , por tramos.

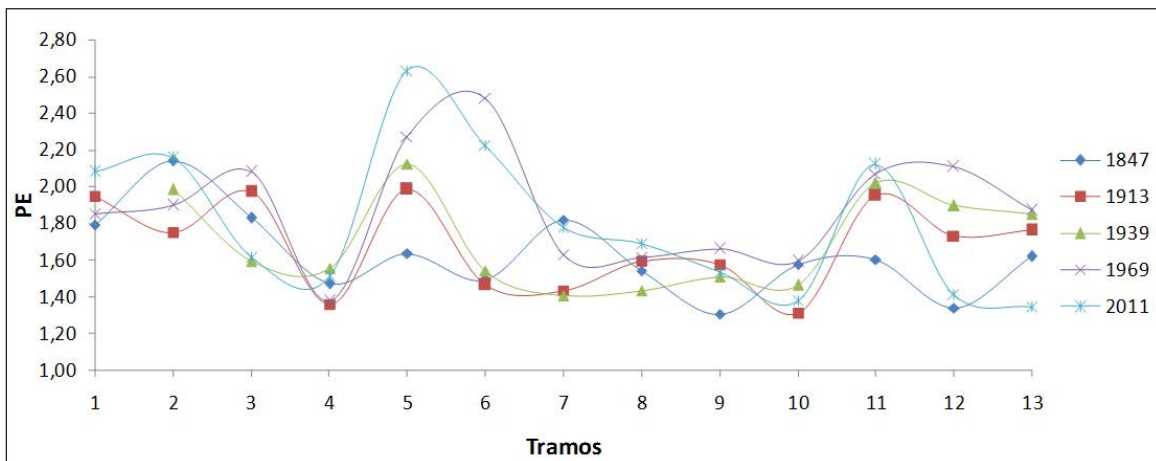


Figura 5d. Parámetro de entrelazamiento del cauce principal, PE , por tramos.

Las gráficas de Fig. 5 ponen en evidencia algunas características y comportamientos singulares en la evolución espacio-temporal del cauce principal. En primer lugar, puede observarse una tendencia general a la disminución del ancho efectivo en la dirección del escurrimiento (Fig. 5a), que se repite en todo el período analizado.

Por otro lado, la baja variabilidad de ese parámetro en algunos tramos (8 y 9, específicamente), parece asociarse al “encajonamiento” del cauce principal

entre márgenes resistentes, lindantes o muy próximas a su traza.

La profundidad media del thalweg tiende a aumentar hacia aguas abajo (Fig. 5b), fundamentalmente desde el tramo 5 desde donde lo hace en forma casi continua, y con una variación de ca. 50 % para los promedios de cada registro.

La sinuosidad del thalweg (Fig. 5c) muestra un patrón casi “ondulatorio” en la dirección del escurrimiento, aunque con cambios en la amplitud o longi-

tud de las “ondas” en algunos registros (o en partes de ellos, e.g., años 1847 y 1969). El patrón marca la proclividad a la meandrificación de varios segmentos del cauce, separados por otros más cortos, menos sinuosos.

La reducción abrupta de la sinuosidad en el tramo 4 luego de 1847 se explica en parte con el detalle de evolución morfológica presentado en la Fig. 6, y estuvo asociada a fenómenos de rectificaciones y avulsiones del thalweg que acontecieron desde aquél año.

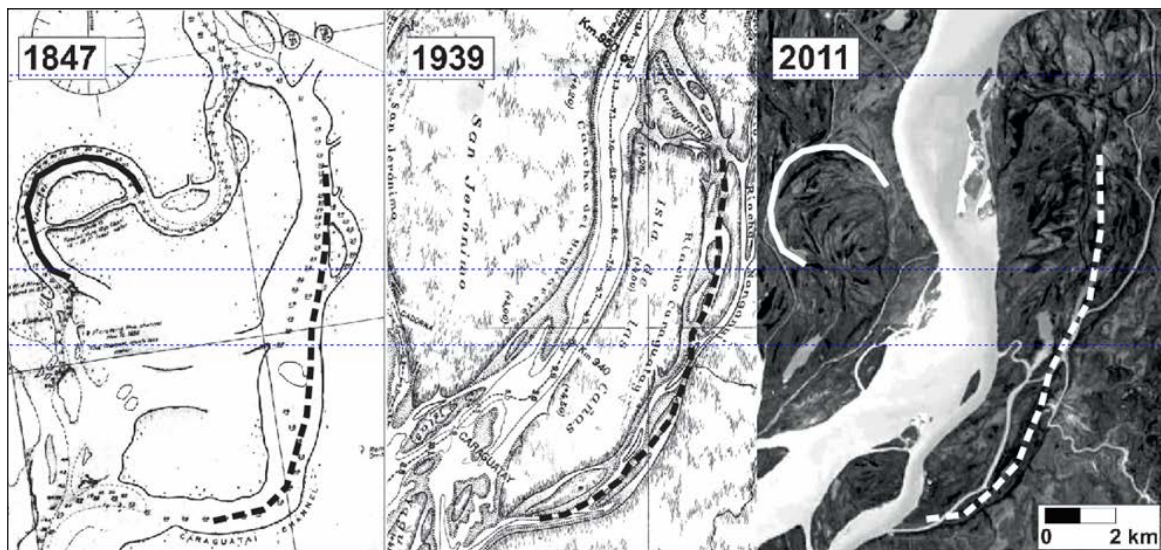


Figura 6. Avulsiones del thalweg del cauce principal en la parte terminal del segmento 4. El arco blanco en la imagen de 2011 reproduce el meandro del thalweg de 1847 (arco negro). La línea de trazos blanca sobre el actual Rcho. Caraguatay (brazo principal del río antes de 1913) se imitó en negro en los registros previos; así, se advierte una segunda avulsión del thalweg ocurrida entre 1847 y 1939, con un desplazamiento al oeste de más de 3 km desde la traza del Caraguatay.

Con relación al parámetro de entrelazamiento (Fig. 5d) se advierte que el cauce ha tendido históricamente a ser más simple en los tramos 4, 8, 9 y 10 en comparación al resto de los segmentos, que poseen promedios más altos o cambiantes.

En ese sentido, los cambios en las variables planimétricas de Fig. 5 estuvieron acompañados de transformaciones substanciales en las islas del cauce principal en toda la extensión del tramo medio, aún en los segmentos más “estables” (en términos medios). Si bien los mecanismos elementales de generación y ampliación de islas del río incluyen la migración lateral del thalweg y la sedimentación concomitante de bancos de arena tras él, junto a la acreción de nuevos bancos en los extremos de aguas arriba, o de abajo, o en los flancos de islas preexistentes (Ramonell et al., 2000; Pereira et al., 2009), es posible definir tres modelos básicos de formación de islas en el Paraná, a nivel de grandes islas o de agrupamientos de ellas en un sector del cauce (Parody y Estruco, 1975; Ramonell et al., 2000): Modelo A) por desarrollo/jerarquización de un riacho menor de la planicie aluvial, que escinde una porción de la misma convirtiéndola en isla (Fig. 7a); Modelo B) por jerarquización de un riacho en islas grandes del cauce (Fig. 7b); y Modelo C) por aumento de la amplitud de una onda o meandro del thalweg (Fig. 7c).

Con esa base conceptual, todos los segmentos del tramo medio fueron evaluados cualitativamente, con-

siderando los registros cartográficos de los últimos 100 años (1913 – 2011), e imágenes satélite de los satélites Landsat 2, 3 y 5 correspondientes a siete momentos equiespaciados entre 1977 y 2009.

Se detectó que en cada uno de los 13 segmentos ocurrieron los tres modelos de generación de islas, aunque algunos fueron predominantes según los tramos. Así, en los tramos 1, 3, 8, 9 y 13 se advirtió la preponderancia del modelo C. Estos segmentos se distinguen por poseer morfologías comunes, como el de la configuración en planta definida por sectores ensanchados, en los que se forman la mayor cantidad de islas, seguidas por tramos estrechos en los que el flujo se concentra en un único cauce, más profundo. A la vez, todos los segmentos se encuentran limitados por una margen no aluvial resistente a la erosión, mientras que la otra se conforma por materiales aluviales friables (antiguas islas adosadas a la planicie, principalmente) con partes menores cohesivas (Tabla 1 y Fig. 4). Las islas son, en general, de geometría fusiforme en planta.

Una diferencia que existe entre los segmentos en los que ha predominado el modelo C concierne a la variabilidad en el tamaño de las islas: en el tramo 8 son mayormente pequeñas (promedio de 2,5 km² de superficie para los últimos 35 años) mientras que en los segmentos restantes llegan a superar los 30 km², con áreas medias 2 a 4 veces más grandes que las del tramo 8.

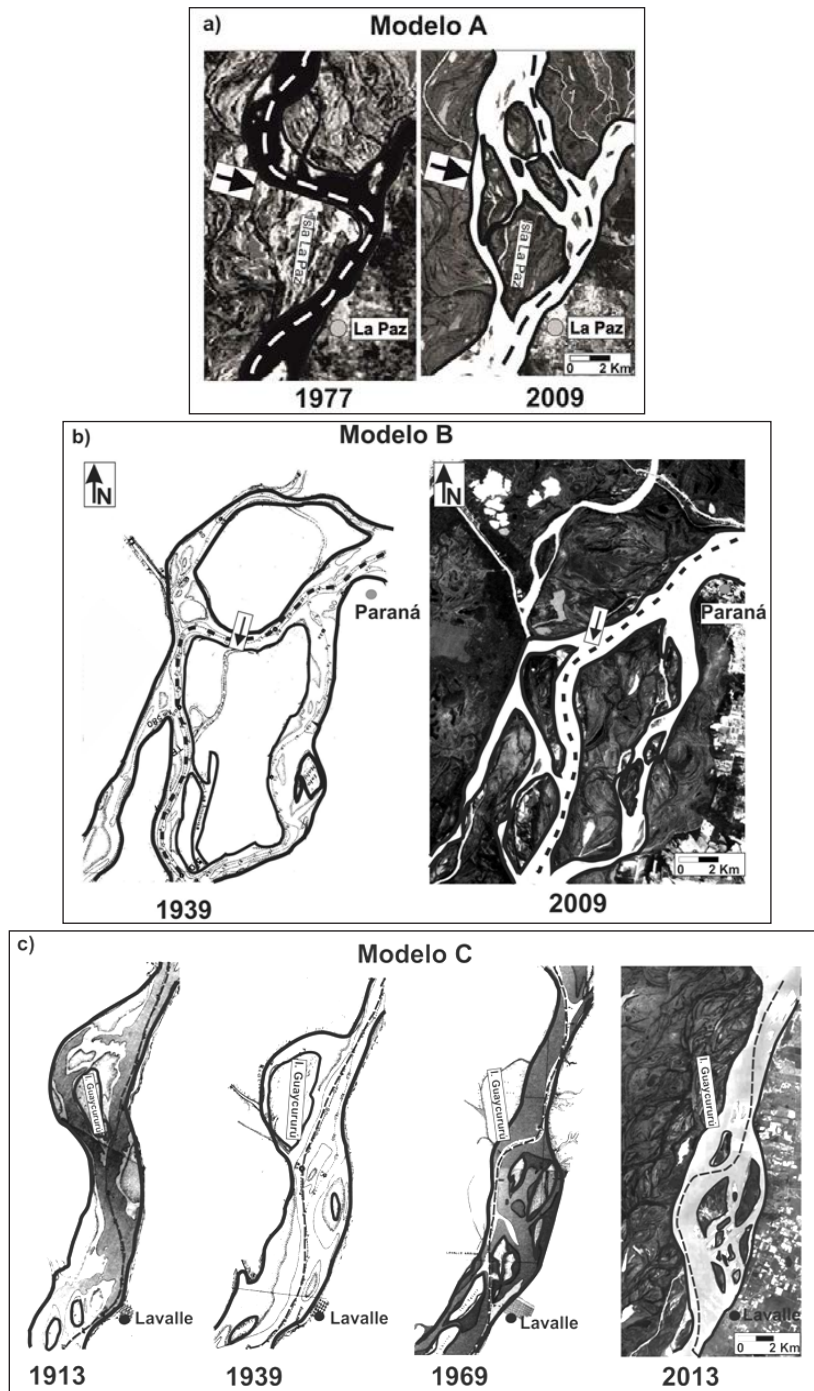


Figura 7. Modelos básicos de formación de islas en el cauce principal del Paraná Medio (Parody y Estruco, 1975; Ramonell et al., 2000): a) jerarquización de riachos de la planicie aluvial; b) jerarquización de riachos en grandes islas del cauce; c) aumento de la amplitud de las ondas del thalweg.

El ritmo de reemplazo de islas también es desigual: en el segmento 8 casi la totalidad de las islas no supera los 40 años de antigüedad, habiéndose substituido hasta en dos oportunidades en sectores, modificándose la ubicación de las partes estrechas y ensanchadas del cauce. En los segmentos 3, 9 y 13 estos fenómenos ocurrieron parcialmente, con zonas sin tal variación desde 1913.

En los tramos 2, 5, 6, 11 y 12 los modelos A y B de Fig. 7 fueron los predominantes, en proporciones equitativas. Al igual que en los segmentos previos

estos tramos mantienen similitudes entre ellos, como la de estar limitados por márgenes aluviales de manera casi exclusiva, tanto friables como cohesivas; sus islas son alargadas principalmente, con relaciones largo/ancho superiores a 2:1, y crecen mayormente en la dirección del eje mayor, tanto hacia aguas arriba como aguas abajo por la acreción de bancos y/o islas más pequeñas. La dinámica sinuosa a meandriforme del thalweg genera islas según el modelo C, en forma minoritaria.

La producción/reemplazo de islas en los cinco segmentos considerados ha sido desigual, con menores variaciones en los tramos 11 y 12 en comparación a los restantes.

Finalmente, los segmentos delimitados por la embocadura y desembocadura de un brazo secundario con más de 100 años de existencia (tramos 4, 7 y 10, brazos San Jerónimo, Espinillo y Colastiné, respectivamente) se distinguen por poseer pocas islas, de dimensiones relativamente pequeñas y formadas mediante el modelo C, sobre todo. Los sectores específicos de la embocadura y la desembocadura de los brazos son muy variables, con creación y reemplazo de islas mediante los tres modelos de Fig. 7 (principalmente del modelo C en la embocadura, y los A y B en la desembocadura).

CONCLUSIONES

A partir de la definición y reconocimiento espacial de indicadores de variables de control morfológico, se diferenciaron 13 segmentos del cauce principal del Río Paraná en los casi 800 km que posee entre las ciudades de Corrientes y Rosario (Fig. 4). En ellos se evaluaron cuatro parámetros morfológicos para los últimos 160 años: ancho efectivo, profundidad y sinuosidad del thalweg, y parámetro de entrelazamiento; los valores medios de estos parámetros resultaron ser característicos para la mayor parte de los segmentos en tramos sucesivos para cada momento temporal analizado, y variables a lo largo del período entero.

En la longitud completa del tramo medio y en toda la serie temporal analizada se identificaron rectificaciones de ondas del thalweg del cauce principal en las formas descritas por Ramonell et al. (2002), esto es, subaéreas y subacuáticas, y un único fenómeno de avulsión aparentemente no vinculado a esos procesos, con la formación de un nuevo brazo conteniendo al thalweg, de unos 12 km de longitud.

Se observó una clara tendencia a la disminución del ancho efectivo medio del cauce principal hacia los tramos de aguas abajo, sostenido en el período, y el aumento de la profundidad media del thalweg en esa dirección, aunque sólo en los últimos 500 km analizados de cauce.

Un solo segmento resultó ser planimétricamente estable en relación a todos los evaluados (tramo 8, entre La Paz y Hernandarias, km 757 a 689 de la ruta de navegación fluvial), aunque en él ocurrió la mayor tasa de generación y destrucción (o recambio) de islas en los últimos 100 años. Tales cualidades estarían explicadas por el “encajonamiento” del cauce principal entre materiales geológicos resistentes, que restringen la meandricación del thalweg del río.

AGRADECIMIENTOS

Esta contribución es producto de proyectos de investigación sobre el río Paraná desarrollados en la Fa-

cultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH), con subsidios de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNL e incluye información generada en el marco de trabajos de posgrado que realizan parte de sus autores, y la revisada desde una beca de iniciación a la investigación hecha por el primer autor, bajo la dirección de Carlos G. Ramonell y la co-dirección del Lic. Aldo Paira (INALI –FICH, UNL).

Los autores agradecen al Lic. Paira los asesoramientos generales y relativos a la cartografía de pequeña escala que sirvió de base a este trabajo; al PTC Claudio Carrión por el acceso a la base de registros batimétricos históricos y recientes del Dpto. Paraná Medio de la Dirección Nacional de Vías Navegables (DNVN); al Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, Brasil), por la provisión libre vía web de imágenes satélite.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

Cabral, S. 1973. Presencia del efecto de Coriolis en el Río Paraná. Santa Fe: Colmegna.

Castro, S. L., E. D. Cafaro, M. G. Gallego, A. M. Ravello, J. J. Alarcón, C. G. Ramonell y M. L. Amsler 2007. Evolución morfológica histórica del cauce del Río Paraná en torno a Rosario (km 456 – 406). XXI Congr. Nac. del Agua, CD de Trabajos, 20 pág. S. M. de Tucumán, Argentina

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) 2008. Estudio fluvial del Riacho Barranqueras. Comitente: Administración Provincial del Agua (APA) de la Pcia. del Chaco. Informe Final, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) 2012. Estudios básicos para la determinación de la vulnerabilidad a las inundaciones de las áreas costeras al río Paraná, próximas a las localidades de Goya y Reconquista. Comitente: Secretaría de Obras Públicas de la Nación. Informe Final, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.

Giacosa, R., C. Paoli, y P. Cacik. 2000. Conocimiento del régimen hidrológico, Tomo 1: 69-103. En Paoli, C., Schreider, M. I. (Eds.). El río Paraná en su tramo medio. Contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura. Centro de Publicaciones, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.

Iriondo, M. 1988. A comparison between the Amazon and Paraná river systems. *Mitt. Geol.-Paläont. Inst.*, H. 66: 77 – 92.

Latrubesse, E. 2008. Patterns of anabranching channels: the ultimate end-member adjustment of mega rivers. *Geomorphology*, 101: 130–145.

- Minotti, P., C. G. Ramonell y P. Kandus 2013. Regionalización del corredor fluvial Paraná-Paraguay. p. 33-90 En: L. Benzaquén & otros, (eds.). *Inventario de los humedales de Argentina. Sistemas de Paisajes de Humedales del Corredor Fluvial Paraná-Paraguay*. Secr. de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Buenos Aires.
- Mosley, M. P. 1981. Semi-determinate hydraulic geometry of river channels, South Island, New Zealand. *Earth Surface Processes and Landforms*. 6: 127-137.
- Parody, H., y J. Estruco. 1975. Racionalización del dragado del Río Paraná. Teoría de las mutaciones periódicas. IV Reunión Asoc. Latinoamericana de Dragado (ALAD), Buenos Aires. pp 1-54.
- Pereira, M. S., Montagnini, M. D., Cafaro, E. D., Gallego, M. G., Hernández, J., & Ramonell, C. G. 2009. Disparidades de evolución morfológica y transporte sedimentario en ensanchamientos sucesivos del Río Paraná. IV Simposio Reg. sobre Hidráulica de Ríos. Salta, Argentina: CD de Trabajos.
- Popolizio, E., A. A. Borfitz y P. Y. Serra. 1980. Fotointerpretación aplicada al estudio de las causas de los desmoronamientos de ribera en la localidad de Lavalle (prov. de Corrientes). Centro de Geociencias Aplicadas UNNE, Serie C de Investigación, Tomo 15, 3: 1-57. Resistencia, Chaco, Argentina.
- Ramonell, C.G., y I.M. Cristina. 2014. Geomorfología y propagación de crecidas en el tramo medio del río Paraná, Argentina. 2º Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras. Santa Fe, Argentina.
- Ramonell, C. G., M. L. Amsler y H. Toniolo. 2000. Geomorfología del cauce principal. En: Paoli, C. U. & Schreider, M. (eds.). *El Río Paraná en su tramo medio. Una contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura* : T. 1, 173-232. Centro de Publicaciones de la UNL. Santa Fe.
- Ramonell, C. G., M. L. Amsler & H. Toniolo. 2002. Shifting modes of the Paraná River thalweg in its Middle-Lower reaches. *Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl.-Bd.* 129:129-142. Stuttgart.
- Soldano, F. 1947. Régimen y aprovechamiento de la red fluvial argentina. Címera. Buenos Aires.
- Toniolo, H. A. 1999. Las divagaciones del thalweg del río Paraná. Tesis de Maestría de Ing. en Recursos Hídricos. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.