

Evolución geomorfológica de canales distributarios en el frente sudoriental del delta del Paraná (Tigre, Buenos Aires, Argentina)

Geomorphological evolution of distributary channels in the southeastern front of the Paraná delta (Tigre, Buenos Aires, Argentina)

Agustín Quesada^{1,2,*}, Silvia C. Marcomini^{1,2}

¹ Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Intendente Güiraldes 2160 Buenos Aires, 1428, Argentina.

² Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Universidad de Buenos Aires. Intendente Güiraldes 2160 Buenos Aires, 1428, Argentina.

* Autor para correspondencia:
(A. Quesada) agustinquesada.geo@gmail.com

Cómo citar este artículo:

Quesada, A., Marcomini, S.C., 2025, Evolución geomorfológica de canales distributarios en el frente sudoriental del delta del Paraná (Tigre, Buenos Aires, Argentina): Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 77(3), A110925. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2025v77n3a110925>

Manuscrito recibido: 10 de Diciembre, 2024.
Manuscrito corregido: 27 de Julio, 2025.
Manuscrito aceptado: 4 de Agosto, 2025.

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

RESUMEN

La evolución geomorfológica de los canales distributarios en el frente sudoriental del delta del río Paraná (Primera Sección de islas, Partido de Tigre) responde a la interacción de procesos fluviales y costeros. En esta región, caracterizada por una red de drenaje compuesta por un canal distributivo troncal principal (río Paraná de las Palmas, principal vía navegable de la hidrovía Paraná–Emilio Mitre), canales distributarios secundarios (distribuyen aguas y sedimentos, pero no desembocan en el Río de la Plata) y canales distributarios terminales (desembocan en el Río de la Plata), así como canales menores y de marea que drenan las islas interdistributarias, se identificaron más de diez geoformas asociadas al frente deltaico y la planicie deltaica inferior. A partir del análisis de imágenes aéreas e históricas, se propone un modelo de evolución en dos fases: una primera fase de formación de canales en el frente deltaico, donde el adosamiento de bancos de desembocadura sigue tres etapas —bifurcación de canales, acreción y estabilización costera, y colmatación parcial de uno de los canales—; y una segunda fase que comprende la evolución de estos canales en la planicie deltaica mediante procesos de migración lateral, disminución del ancho y cierre de embocaduras. Se estima que el ciclo completo de incorporación de un banco al sistema lleva alrededor de 30 años. El modelo sugiere una tendencia general a la colmatación de los canales a tasas de hasta 1 m/año, con procesos erosivos localizados, con tasas máximas de 0.5 m/año. Estos resultados permiten comprender los procesos sedimentarios clave que controlan la dinámica fluviodeltaica en esta sección sudoriental de islas y canales y ofrecen una base para orientar investigaciones hidrosedimentológicas, redefinir la línea de costa, optimizar el manejo de dragados y mejorar la gestión de humedales en sectores de alta dinámica morfológica.

Palabras clave: bifurcaciones, migración lateral, sinuosidad, bancos de desembocadura.

ABSTRACT

The geomorphological evolution of the distributary channels in the southeastern front of the Paraná Delta (first section of islands, Tigre District) results from the interaction between fluvial and coastal processes. This region is characterized by a drainage network composed of a main trunk distributary channel (the Paraná de las Palmas River, the main navigable route of the Paraná–Emilio Mitre waterway), secondary and terminal distributary channels, as well as smaller tidal and erosional channels that drain the interdistributary islands. More than ten landforms associated with active dynamics of the delta front and the lower delta plain were identified. Based on the analysis of aerial and historical images, a two-phase evolutionary model is proposed: a first phase of channel formation at the advancing front, where the attachment of mouth bars follows three stages—channel bifurcation, accretion and coastal stabilization, and partial infilling—and a second phase involving the evolution of these channels on the delta plain through lateral migration, narrowing, and mouth closure. The complete cycle of mouth bar incorporation into the system is estimated to take approximately 30 years. The model suggests a general trend toward channel infilling, with localized erosional processes, with maximum rates of 0.5 m/year. These results contribute to understanding the key sedimentary processes that control deltaic dynamics in this section and provide a basis for guiding hydro-sedimentological research, redefining the shoreline, optimizing dredging management, and improving wetland management in areas of high morphological dynamism.

Keywords: bifurcation, lateral migration, sinuosity, mouthbar.

1. Introducción

La región del delta del Paraná se extiende a lo largo de aproximadamente 300 km y abarca una superficie cercana a los 17 500 km². Constituye la porción terminal de la cuenca del Plata (Figura 1A y 1B), la segunda más extensa de Sudamérica, que drena regiones subtropicales y templadas antes de desembocar en el estuario del Río de la Plata (Stevaux, 2000; Latrubesse *et al.*, 2005). En este contexto, la planicie deltaica del río Paraná se destaca por ser uno de los sistemas fluviodeltaicos más activos y constructivos del mundo en términos de progradación natural y dinámica sedimentaria (Kandus y Quintana, 2016; Hori y Saito, 2022).

El sector sudoriental del delta, próximo al Área Metropolitana de Buenos Aires, se encuentra sometido a una creciente presión antrópica derivada de usos habitacionales, productivos y recreativos. En este marco, los canales distributarios han sido intervenidos mediante dragados con fines de navegabilidad (Cricelli *et al.*, 2017) y extracción de arenas silíceas (Rossi, 1962; Caballé *et al.*, 2005). De forma paralela, las islas interdistributarias son rellenadas artificialmente para reducir su anegabilidad y facilitar su uso con fines agrícolas o de urbanización (Groeber, 1961; Codignotto y Marcomini, 1993; UBANEX, 2011; Marcomini *et al.*, 2018; Quesada, 2019).

El objetivo de este trabajo es analizar la morfodinámica de los canales distributarios del frente sudoriental del delta del río Paraná, sector conocido como Primera Sección de Islas del Delta Bonaerense, partido de Tigre, provincia de Buenos Aires, Argentina (en adelante, Primera Sección), con el fin de describir la red de drenaje de esta zona, analizar las geoformas costeras y desarrollar un modelo geomorfológico evolutivo aplicable a esta región. Para ello, se integran series de fotografías aéreas históricas e imágenes satelitales de alta resolución, que permitieron construir un modelo conceptual de evolución natural de los canales. Este modelo se plantea como meta contribuir al manejo sustentable de los recursos naturales y a la planificación territorial de la Primera Sección.

2. Antecedentes

La región geográfica del delta del Paraná ha sido concebida como un complejo de desembocadura del río Paraná que evolucionó principalmente durante el Holoceno (Iriondo, 2004; Milana y Kröhling, 2015; Colombo *et al.*, 2015; Kandus y Quintana, 2016). Este complejo se extiende de forma subáfrica dentro del Río de la Plata (RdP; Parker, 1990; Marcolini y Parker, 1992; Cavallotto y Violante, 2005). La última fase en la evolución de esta desembocadura es el delta moderno en los términos de Iriondo (2004), cuyo ápice se encuentra cerca de la localidad de Ibicuy, departamento de Islas de Ibicuy, provincia de Entre Ríos, donde ocurre la bifurcación del río Paraná Inferior en los canales distributarios troncales: río Paraná Guazú y río Paraná de las Palmas (Figura 1B). Este delta, el delta del río Paraná, *sensu stricto* en los términos de Cavallotto *et al.* (2005), forma parte del cortejo regresivo (*regressive system tract*) de la “Unidad Geomorfológica Río de la Plata”, depositado luego del último máximo transgresivo holoceno, que ocurrió en toda la región aproximadamente 6 000 años AP (Cavallotto *et al.*, 2005).

En cuanto a la hidrosedimentología del sistema (Amsler *et al.*, 2007; Isupova y Mikhailov, 2018), el río Paraná Inferior aporta un caudal líquido de aproximadamente 18 000 m³/seg y de 90 a 160 millones de ton/año de sedimentos (28 % arcillas, 56 % limos y 16 % arenas). No obstante, hay una marcada diferencia entre los canales distributarios troncales que se bifurcan al sur de la localidad de Ibicuy (Figura 1B). El río Paraná Guazú (sector norte del delta) transportará aproximadamente el 76 % del caudal total, mientras que el Paraná de las Palmas (sector sur) descargará el 24 % restante (Bombardelli *et al.*, 1995; Sarubbi 2007).

La carga sedimentaria limosa que transporta el río Paraná y que es aportada principalmente por el río Bermejo, afluente del sistema fluvial en el sector noroeste de la cuenca alta de la cuenca del Plata (Figura 1A), es clave en la depositación de sedimentos y en la progradación del sistema fluviodeltaico en la cuenca baja (Parker, 1990; Sarubbi, 2007). Eventos excepcionales de

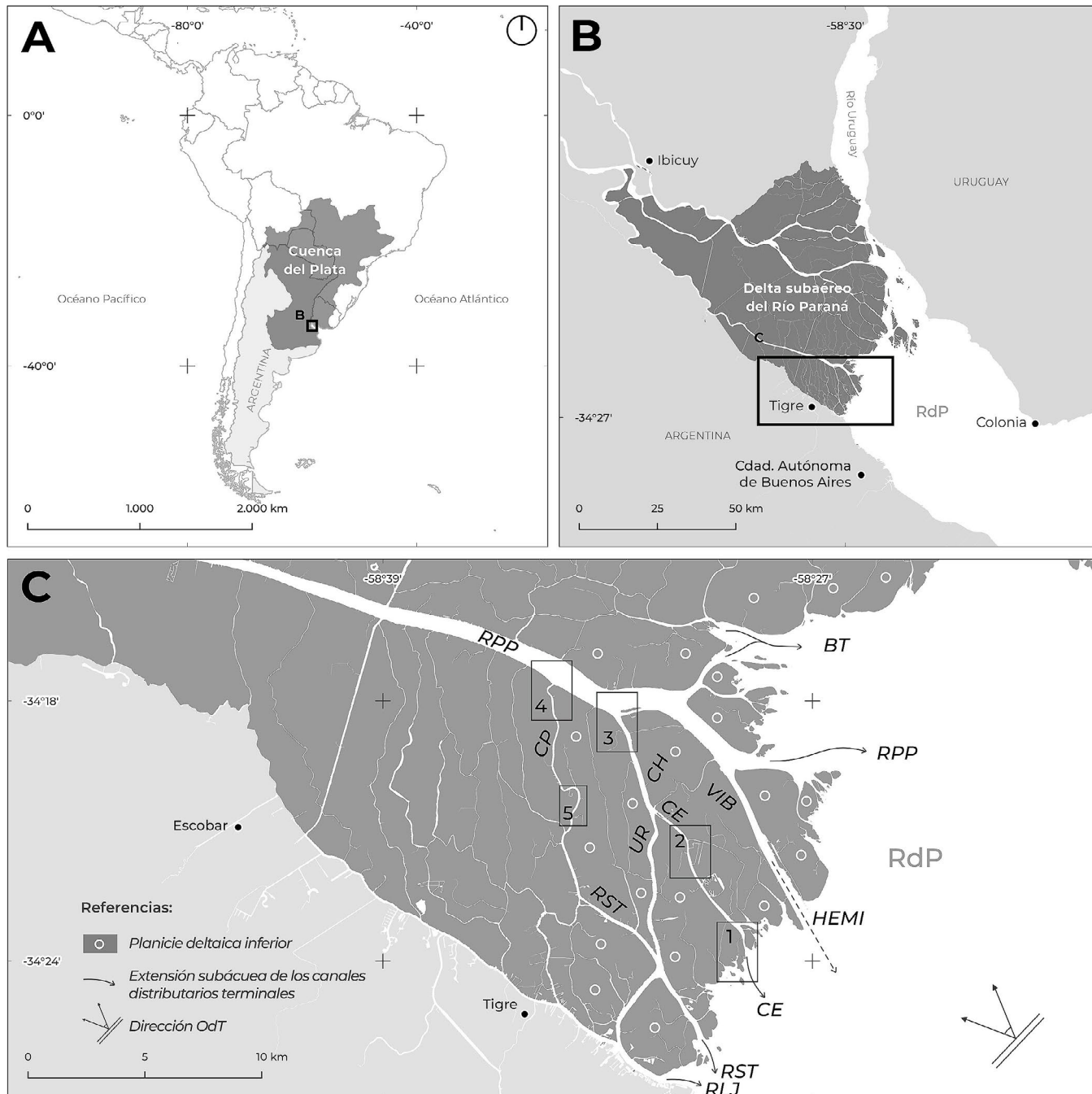


Figura 1 Mapa de ubicación. A) Cuenca del Plata. B) Delta del río Paraná según Cavallotto (1995). Referencias. RdP: Río de la Plata C) Red de drenaje de la Primera Sección los cinco sitios seleccionados para realizar los estudios geomorfológico evolutivos. Referencias, RPP: río Paraná de las Palmas, BT: Bajos del Temor, CH: canal Honda; UR: río Urión; CP: Capitán; AD: Arroyo Desaguadero; OdT ondas de tormenta del sudeste. Los círculos grises indican la planicie deltaica inferior del delta subáereo. Las flechas en las desembocaduras del frente de avance indican la extensión en forma subbáscua de los canales distributarios terminales. VIB: arroyo Víboras, CE: canal del Este, RST: río San Antonio y RLJ: río Luján; los canales artificiales: HEMI: Hidrovía canal Emilio Mitre.

descarga asociados a fenómenos de variabilidad climática en la cuenca alta (Depetris y Gaiero, 1998; Aguirre-Glik *et al.*, 2025) generan drásticos cambios en el transporte de material vegetal flotante, como los camalotales (*Eichhornia crassipes*), y en el aporte de sedimentos (Poi de Neiff, 2016). Las principales forzantes climáticas asociadas a los eventos de caudales extremos del río Paraná están dominadas por la ocurrencia de eventos El Niño (ENSO) cada 2 a 7 años, los cuales suelen durar entre 9 y 12 meses (Camilloni y Barros, 2003). En particular, eventos ENSO y otras oscilaciones climáticas que determinan los eventos de grandes descargas del río Paraná se han vinculado a una sedimentación episódica en el frente deltaico (Menéndez *et al.*, 2017).

En el delta del río Paraná también se han identificado diferencias entre las desembocaduras de los sectores norte y sur. En el sector norte predominan los depósitos arenosos, mientras que en el sur prevalecen los sedimentos limosos (Marcolini y Parker, 1992). El frente deltaico del río Paraná, constructivo por naturaleza, presenta tasas de progradación que varían entre 30 y 120 m por año en los sectores norte y sur, respectivamente (Soldano, 1947; Sarubbi, 2007; Medina y Codignotto, 2013; Marcomini *et al.*, 2018). En cuanto a la morfología de los canales distributarios y sus bancos de desembocadura, el sector norte ha sido caracterizado como el “Sistema Fluvial Norte” por sus canales profundos (Cavallotto y Violante, 2005a; Cavallotto *et al.*, 2005b) dominados por la influencia fluvial. Por otra parte, el extremo sur muestra un mecanismo de adosamiento de bancos de desembocadura que ha sido descrito inicialmente en Marcomini *et al.* (2018). Para la zona sudoriental del frente deltaico, la acreción vertical en la línea de costa es de 1.5 a 1.7 cm/año según mediciones en núcleos sedimentarios (Schuerch *et al.*, 2016; Gallo *et al.*, 2021; Quesada *et al.*, 2022).

En cuanto a los niveles de agua y oceanografía del estuario del RdP, el delta del río Paraná aporta aguas relativamente cálidas al estuario, generando

termoclinas y una cuña de agua salada que se manifiesta en RdP Exterior (Guerrero *et al.*, 1997). El nivel medio del RdP es de 0.92 m por sobre el plano de sondaje local (SHN, 1999). El régimen micromareal semidiurno es altamente variable debido a forzantes meteorológicas (D’Onofrio y Fiore, 2002; Camilloni y Barros, 2003; Simionato *et al.*, 2004). Por lo tanto, es útil concebir las mareas meteorológicas como parte de un sistema que puede modificar este nivel medio en hasta ± 4 m (Balay, 1961; D’Onofrio y Fiore, 2002). El oleaje en el RdP es moderado, con alturas promedio de 0.2 a 0.4 m. Sin embargo, condiciones de ondas de tormenta provenientes del cuadrante S-SE (sudestadas) suelen provocar la elevación del nivel del agua en el estuario durante uno o varios días con generación de un oleaje que puede superar los 1.5 m (Dragani y Romero, 2004). Estas ondas de tormenta remodelarán la geomorfología de la planicie inferior deltaica tal como se describe más adelante.

Para el análisis geomorfológico de la Primera Sección, se tuvieron en cuenta estudios previos en grandes deltas del mundo (Coleman *et al.*, 1998; Bhattacharya y Giosan, 2003; Kuehl *et al.*, 2005; Olariu y Bhattacharya, 2006; Anthony, 2015; Hori y Saito, 2022) que concluyen que en una misma extensa planicie deltaica pueden coexistir sectores con morfologías más influenciadas por forzantes de cuenca aportante (descargas fluviales) y sectores con morfologías más influenciadas por forzantes de cuenca receptora (forma de la cuenca, mareas, tormentas y oleaje). En relación con los modelos de sistemas fluviodeltaicos, bancos de desembocadura y dinámica de canales que se han tomado de referencia, se destacan: la morfología de red de drenaje Galloway (1975) y Coleman y Huh (2004); la propuesta de bancos laterales y su depositación de Payenberg y Lang (2003) y los modelos de depositación de bancos de desembocadura de Wright (1977). Asimismo, fueron de interés esquemas de interacción vegetación-sedimentos previamente elaborados para la región fluvial del Paraná provenientes de Sirolli (2014), Marchetti *et al.* (2020) y Kandus *et al.* (2025).

Por último, es de interés mencionar los antecedentes relativos a la presión antrópica sobre los canales distributarios y la conflictividad socioambiental en la Primera Sección. En Prat y Solomon (1998), Galafassi (2005), Donadille *et al.* (2010) y Zagare (2019), entre otros, se da cuenta de cómo ha ido cambiando el uso del suelo y la transformación del paisaje de las islas y canales de la Primera Sección. Entre los impactos en el medio físico de los canales, es de interés mencionar el del oleaje náutico generado por las lanchas a motor, que provoca un intenso retroceso de las márgenes (Groeber, 1961; Den Bieman *et al.*, 2010; Quesada, 2019), modificando el perfil transversal de los canales y generando erosión de las riberas en ambas márgenes (siempre que no estén protegidas por tablestacados, arbolados u otro) y la formación de terrazas bajas de aproximadamente 1 m de profundidad con escarpas retrocedentes (Vehrij, 2000; Quesada, 2019).

Previo a estos impactos de la navegación a motor, deben considerarse los mencionados dragados en el delta para la extracción de arenas silíceas como recurso natural para la construcción (Rossi, 1962; Caballé *et al.*, 2005; Zagel, 2023), así como los dragados de profundización y mantenimiento de canales (Quesada, 2019) y creación de nuevos canales artificiales a principios del siglo XX (Cricelli *et al.*, 2017). Los dragados profundos en las islas con el propósito de obtener material para el relleno de humedales y elevación de albardones artificiales tipo polderización para generar desarrollos inmobiliarios son situaciones más frecuentes en el siglo XXI y también fueron estudiados para la Primera Sección en UBANEX (2011). Dado el contexto de una planicie deltaica superior de la Primera Sección fuertemente intervenida por actividades humanas, la selección de sitios y los métodos de estudio resultaron clave para soslayar los procesos antropogénicos,

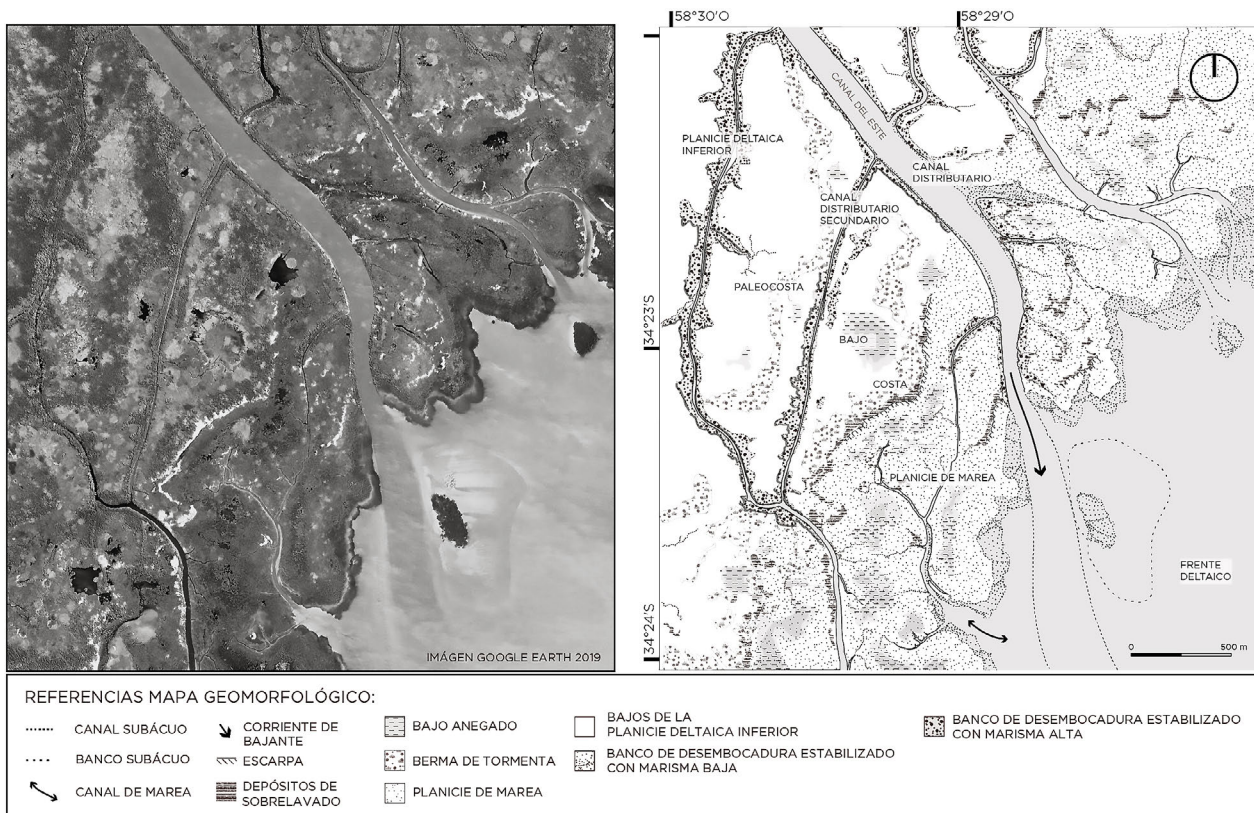


Figura 2 Imagen satelital y mapa geomorfológico de detalle de la planicie deltaica inferior aledaña a la desembocadura del canal del Este. La ubicación de este mapa corresponde al sitio 1 en Figura 1C. Para una descripción completa de cada geoforma véase Tabla 1.

poniendo énfasis en esta contribución en identificar los procesos naturales de erosión y acumulación que operan en las desembocaduras y márgenes de canales distributarios de la planicie deltaica inferior y frente deltaico de la Primera Sección (Figura 1C).

3. Metodología

El análisis de fotografías aéreas históricas e imágenes satelitales es una herramienta consolidada en estudios geomorfológicos para investigar la evolución de sistemas fluviales (Gurnell *et al.*, 1994). En el presente estudio, se elaboró un mapa geomorfológico de detalle a partir de una imagen satelital de alta resolución del año 2019, disponible en *Google Earth*, complementada con verificaciones de campo. El área cartografiada —de aproximadamente 2 km²— corresponde a la desembocadura del Canal del Este, donde se identificaron las geoformas características del frente de avance en la Primera Sección del delta. La elección de este sitio se debe a su bajo nivel de intervención antrópica, en contraste con otras desembocaduras más modificadas, como las del norte (asociadas a la hidrovía Paraná–Emilio Mitre) o del sur, donde la descarga de los canales ha sido alterada por obras artificiales, como el Canal Vinculación.

Con el objetivo de analizar la evolución geomorfológica de los canales distributarios —que presentan una dinámica de agradación o erosión en general lenta, salvo en sus desembocaduras—, se utilizaron dos fotomosaicos aéreos históricos provistos por el departamento de fotografía de la Base Aeronaval Punta Indio (provincia de Buenos Aires): 1) un fotomosaico de 1934 a escala 1:20,000 que cubre de forma parcial el área de interés, y 2) un fotomosaico de 1969 a escala 1:50,000 que cubre de forma total el área de interés. Ambos materiales fueron digitalizados y ortorrectificados con el software *GlobalMapper* 11, empleando como base de georeferenciación imágenes satelitales del año 2019.

A partir de este material fotográfico se seleccionaron cinco casos de estudio representativos de distintos procesos geomorfológicos observados tanto en el frente de avance como en la planicie

deltaica, con el objetivo de construir un modelo evolutivo de los canales distributarios. Cada uno de los sectores abarca un área aproximada de 2 km², incluyendo canales e islas. Se priorizaron zonas con escasa intervención antrópica, excluyendo áreas urbanizadas o modificadas por canales artificiales.

Los sitios seleccionados (Figura 1C) para analizar la evolución morfodinámica de los canales (Figura 4) y elaborar el modelo evolutivo (Figura 5) comprenden las siguientes geoformas: 1) La bifurcación que origina el canal Honda, representativa de bifurcaciones recientes del Paraná de las Palmas. 2) La embocadura del río Capitán, ejemplo de una antigua bifurcación actualmente en proceso de obturación parcial. 3) La sinuosidad del río Capitán, conocida como “Vuelta Mala”, que ilustra un tramo curvo estabilizado en un canal distributivo. 4) El banco de desembocadura en el tramo final del Canal del Este, seleccionado como caso de estudio para analizar la sedimentación en canales y la evolución de bancos en el frente deltaico. 5) La planicie deltaica inferior, correspondiente al área mapeada geomorfológicamente en la Figura 2, que permite observar la evolución de la progradación del sistema deltaico hacia el RdP.

Para complementar el análisis de imágenes, los cinco sitios fueron relevados mediante navegaciones en embarcaciones de bajo calado equipadas con ecosonda Garmin Fishfinder, con el objetivo de verificar en campo las profundidades máximas indicadas en la carta náutica H-130 (SHN, 1999). Las morfometrías de largo y ancho de los canales fueron medidas en imágenes satelitales del software *Google Earth*. También se realizaron inspecciones a pie a lo largo de la franja costera de la Primera Sección para registrar geoformas litorales como bajos, escarpas y depósitos de sobrelavado, los cuales se detallan en la siguiente sección. Además de estas técnicas de gabinete y relevamientos de campo, este trabajo incorpora observaciones no sistemáticas realizadas durante más de 20 años por los primeros autores en el marco de actividades de navegación a vela, remo y motor en la región de estudio.

4. Resultados

4.1. GEOFORMAS COSTERAS DE LA PRIMERA SECCIÓN

Una planicie deltaica presenta dos morfologías fundamentales: los canales distributarios y las islas interdistributarias (Hiatt y Passalacqua, 2015). En la planicie inferior deltaica de la Primera Sección, la red de drenaje está gobernada por las descargas del río Paraná de las Palmas, que actúa como el canal distributario principal y troncal del sistema (Figura 1C). Diez kilómetros antes de su desembocadura en el Río de la Plata (RdP), se bifurca hacia el sur un canal distributario

secundario: el canal Honda. Este canal tiene una extensión de aproximadamente 5 km hasta bifurcarse en dos canales distributarios terminales: el canal Urión-San Antonio y el canal del Este. Ambos canales distributarios se denominan como terminales (Olariu y Bhattacharya, 2006), ya que desembocan en el estuario del RdP.

El canal del Este tiene una longitud de 7 km, una profundidad media de 4 m y un ancho que varía entre 70 y 130 m (Figura 1C). Presenta baja sinuosidad y una orientación NO-SE. Hacia el frente deltaico (Figura 2), continúa de manera subacuática como un cauce ancho (200 m) y poco profundo (1 a 2 m por debajo



Figura 3 Fotografías de campo. A) Incipiente estabilización de bancos de desembocadura con parches circulares de junco en el frente deltaico de la Primera Sección. B) Bancos de desembocadura estabilizados y con acumulación de juncos secos flotando sobre el agua. C) Depósitos de sobrelavado (*overwash*) compuestos por bermas de juncos secos y sedimentos sobre la marisma alta. D) Bajante extraordinaria permite ver la cabecera de un canal de marea entre las marismas de la planicie deltaica inferior. E) Reducción del ancho en el canal del Este (correspondiente al sector 4, Figura 1C) por acreción de bancos laterales vegetados con juncales en ambas márgenes.

Tabla 1. Geoformas de frente de avance de la Primera Sección, caracterización hidrodinámica y morfológica.

Geoforma	Condiciones hídricas	Forzantes modeladoras	Descripción
Frente deltaico	Predominantemente subácuo, excepto en bajantes extraordinarias.	Oleaje en tormentas, mareas y descargas fluviales.	Planicies levemente onduladas, con sedimentos medianos a finos y una capa superficial fangos fluidos y de restos vegetales (resaca de río).
Canal distributario	Subácuo, sujeto a corrientes de flujo y reflujo.	Mareas y descargas fluviales intensificadas en eventos ENSO.	Canales mayormente rectos, con tramos sinuosos. El <i>thalweg</i> suele ser ligeramente sinuoso, generando canales algo asimétricos. El fondo presenta fangos fluidos con abundantes restos vegetales. En el canal Este, el <i>thalweg</i> alcanza 4 m por debajo del nivel de sondaje.
Canal subácuo	Subácuo, sujeta a corrientes de flujo y reflujo.	Mareas y descargas fluviales intensificadas durante ENSO.	Prolongación subácuo de los canales distributarios hacia el frente deltaico. Generalmente orientados al SE.
Banco subácuo	Subácuo, sujeta a corrientes de flujo y reflujo.	Oleaje de tormenta, mareas y descargas fluviales.	Bancos de sedimentos medianos a finos, con crestas y surcos donde se desarrollan ondulitas y matas microbianas (Figura 3A).
Banco de desembocadura con marisma baja	Subácuo, con corrientes de flujo y reflujo.	Oleaje, mareas y descargas fluviales con marcada disminución de velocidad de las corrientes debido a la vegetación (juncos).	La vegetación crece sobre bancos subácuos, estabilizándolos. En sectores interiores, el agua queda casi estancada salvo durante descargas o tormentas. Flotan restos vegetales y sedimentos adheridos (Figura 3B).
Planicie de marea	Subaérea y parcialmente subácuo.	Mareas, erosión por oleaje de tormentas del SE.	Planicies vegetadas irregulares, con elevaciones formadas por raíces y sectores bajos erosionados o bioturbados.
Canales de marea	Predominantemente subácuos.	Flujo y reflujo de baja velocidad respecto a canales distributarios.	Canales cortos y de drenaje anárquico. En sus cabeceras se observa erosión retrógrada, con cárcavas y surcos. Algunos drenan hacia bajos. (Figura 3D)
Banco de desembocadura con marisma alta	Predominantemente subaéreo.	Acumulación y erosión por eventos fluviales asociados a ENSO.	Bordes de bancos en contacto con canales de marea o distributarios, estabilizados por vegetación arbustiva y arbórea, que los adosan a la planicie de marea e inferior deltaica.
Escarpas y berma de tormenta (<i>overwash</i>)	Predominantemente subaéreas.	Oleaje durante tormentas.	En la planicie de marea se desarrollan escarpas seguidas de bermas de tormenta tipo depósitos cordoniformes de sobrelevado formados por vegetación muerta con sedimentos adheridos. Suelen orientarse SO-NE. Con la progradación del delta se forman sucesiones de esta geoforma que pueden considerarse líneas de costa. (Figura 3C).
Bajos	Predominantemente subácuos.	Mareas e inundaciones excepcionales (ENSO y tormentas).	Zonas deprimidas o cuencos en planicies de marea o deltaicas que se ubican entre las sucesivas paleocostas.
Canales distributarios secundarios	Predominantemente subácuos.	Mareas y descargas fluviales intensificadas en ENSO.	Canales estrechos que subsisten pese al adosamiento de bancos a la planicie. Transportan agua y sedimentos al frente deltaico.
Planicie deltaica inferior	Predominantemente subaérea.	Mareas e inundaciones por eventos excepcionales (ENSO y tormentas).	Formación de planicies deltaicas entre canales distributarios principales y secundarios. Toman forma de islas elongadas en sentido N-S y NO-SE.

del nivel medio del estuario). Una partícula de sedimento que se transporte como carga de fondo por este tramo terminal se depositará en alguno de los bancos de desembocadura cuya morfología oscila entre formas triangulares en la margen norte y estructuras elongadas hacia el sur y sudeste en la margen sur (Figura 2). Estos bancos presentan dimensiones de entre 100 y 200 m de ancho, y entre 200 y 400 m de largo, con una elevación relativa de aproximadamente 1 m respecto a las planicies de marea adyacentes.

Un rasgo distintivo del frente de avance de estos bancos es la sucesión ecológica de la vegetación, que favorece su estabilización (Kandus *et al.*, 2025). Este proceso comienza con la colonización por marismas bajas dominadas por juncales (*Schoenoplectus californicus*), seguidas por marismas altas de cardazal (*Eryngium pandanifolium*), y culmina en sectores elevados con bosques de ceibos (*Erythrina crista-galli*). En ciertas zonas deprimidas, la vegetación puede evolucionar

hacia pajonales de cortadera (*Scirpus giganteus*), fácilmente distinguibles en imágenes satelitales por su coloración amarillenta (Kandus y Malvárez, 2004).

Las partículas de sedimento depositadas en estos bancos de desembocadura pueden quedar estabilizadas a medida que se establece vegetación de marisma o bien ser retrabajadas por la acción del oleaje en condiciones de ondas de tormenta. En este último caso, los sedimentos pueden transportarse y depositarse en las extensas planicies de marea interdistributarias o formar depósitos de sobrelevado sobre la planicie inferior deltaica. La Figura 2 presenta el mapa geomorfológico de detalle elaborado para la desembocadura del canal del Este, que ilustra las principales geoformas del frente de avance de un canal distributario terminal en la Primera Sección. En la Tabla 1 se describen cada una de las geoformas mapeadas, y en la Figura 3 se muestran fotografías de campo representativas de la dinámica costera de este sector.

4.2. MODELO EVOLUTIVO DE CANALES

A continuación, se presentan los resultados del análisis evolutivo de los cinco sectores seleccionados como casos de estudio, representativos de los procesos geomorfológicos naturales que ocurren en los canales distributarios de la Primera Sección (Figura 4). Las principales observaciones morfodinámicas de cada sector se sintetizan en la Tabla 2.

A partir de los procesos fluviodeltaicos identificados (Figura 4 y Tabla 2), se propone un modelo de evolución de los canales distributarios en dos fases principales (Figura 5). La primera fase corresponde al crecimiento lateral del sistema mediante el adosamiento progresivo de bancos de desembocadura; la segunda fase describe la evolución de los canales al interior de la planicie deltaica inferior.

4.2.1. FASE 1: ADOSAMIENTO DE BANCOS DE DESEMBOCADURA

El análisis multitemporal de fotografías aéreas históricas permitió reconstruir el ciclo de alargamiento de canales mediante adosamiento progresivo de bancos de desembocadura (planicie inferior deltaica, Figura 4 y Tabla 2). Se identificaron tres etapas características de este proceso, que pueden sintetizarse del siguiente modo:

Etapa 1: Formación inicial de un banco de desembocadura y bifurcación del canal terminal. Este proceso marca el inicio del crecimiento progradante del frente deltaico.

Etapa 2: a) Acreción vertical del banco por acumulación de sedimentos finos, con desarrollo posterior de planicies de marea y marismas bajas; b) Formación de nuevos bancos al frente del banco principal, generando nuevas bifurcaciones en el canal terminal; c) Expansión de la planicie de marea sobre el canal distributario secundario que separa el banco principal de la planicie deltaica, lo que disminuye su caudal y lo relega a un rol subordinado; d) Formación de escarpas de tormenta y bermas de sobrelavado, que consolidan una nueva línea de costa sobre el banco.

Etapa 3: a) Colmatación parcial del canal distributario secundario, cuya traza es preservada como un paleocanal en la planicie deltaica; b) Adosamiento completo del banco de desembocadura a la margen del canal distributario terminal y a la planicie deltaica inferior, marcando la culminación del proceso.

4.2.2. FASE 2: EVOLUCIÓN DE LOS CANALES EN LA PLANICIE DELTAICA

Dentro de la planicie deltaica, los canales distributarios tienden a estabilizarse bajo condiciones de baja energía, con dinámicas dominadas por la sedimentación y procesos de migración lateral lenta. Para la reducción del ancho de canales, se midieron tasas de sedimentación de hasta 1 m/año (Banco de desembocadura, Figura 4). La erosión natural de los márgenes se restringe a eventos específicos como migraciones de embocadura, desarrollo de sinuosidades y colmatación parcial de bifurcaciones.

En la Vuelta Mala, por ejemplo, se documentó una migración lateral de tipo meandriforme (sinuosidades, Figura 4), con tasas de erosión inferiores a 0.5 m/año en la margen cóncava y acumulación de barras laterales en la margen convexa. Este valor se propone como una línea de base representativa de la máxima tasa de erosión natural para los canales distributarios de la Primera Sección del delta.

5. Discusión

El modelo evolutivo propuesto para los canales distributarios de la Primera Sección del delta del Paraná se basa en un esquema de dos fases: el adosamiento progresivo de bancos de desembocadura y la evolución subsiguiente de los canales en la planicie deltaica. La evidencia geomorfológica y evolutiva sugiere que, durante el crecimiento del frente deltaico, generalmente solo uno de los canales bifurcados se consolida como canal distributario terminal. El canal restante, con orientación preferente norte-sur, tiende a

Tabla 2. Procesos morfodinámicos de los cinco sectores seleccionados (véase ubicación de sitios en Figura 1C y evolución geomorfológica de cada sitio en Figura 4).

Geoforma	Ubicación	Procesos geomorfológicos dominantes	Evidencias de acumulación y erosión
Banco de desembocadura	Frente deltaico, desembocadura del Canal del Este.	Formación y adosamiento de bancos; bifurcación de canales terminales; influencia de sudestadas en la redistribución de sedimentos.	Formación cíclica de bancos (~cada 30 años); acreción vertical y horizontal; presencia de bermas de tormenta (paleocostas); colmatación parcial de distributarios secundarios y extensión de un único canal 2.7 km en 50 años.
Bifurcación	Bifurcación río Paraná de las Palmas y tramo norte del Canal Honda	Formación de bifurcaciones tipo “Y” con migración de bancos laterales y erosión en márgenes de islas interdistributarias.	Migración de la embocadura hacia el este; erosión en el ápice insular; mantenimiento de un canal ancho (150 m); evolución temprana del patrón distributivo.
Embocadura	Tramo norte del río Capitán	Evolución de embocaduras de tipo “Y” a tipo “L”/obtusos por acreción lateral sobre albardón abandonado. Se reduce el caudal de agua que ingresa al canal.	Cambio en el ángulo de bifurcación (recto → obtuso); formación de bancos alternados; aumento de sinuosidad; reducción progresiva del ancho del canal.
Banco de desembocadura	Isla interdistributaria entre los cursos Canal del Este – Arroyo Desaguadero.	Disminución del ancho por acreción de bancos laterales asociados a antiguos bancos de desembocadura.	Reducción del ancho del Canal del Este (Figura 3D) a tasas media de 1 m/año y del Arroyo Desaguadero a tasas del 0.4 m/año; obstrucción parcial del distributivo por migración de bancos; colonización por marismas altas.
Sinuosidad	Curva pronunciada del Río Capitán, conocida como “Vuelta Mala”.	Migración lateral de cauces sinuosos con formación de bancos alternados y erosión en márgenes externas.	Acreción de bancos en márgenes convexas (20–40 m); erosión en márgenes cóncavas; migración lateral estimada entre 0.2 y 0.5 m/año.
Planicie deltaica inferior	Desembocadura Canal del Este	Progradación subaérea por acumulación sucesiva de bancos; desarrollo de planicies intermareales y marismas; estabilización por vegetación.	Formación de nuevas islas interdistributarias; sucesión ecológica (juncales → cardazales → bosques de ceibos); crecimiento de escarpas; consolidación morfológica del paisaje.

colmatarse parcial o totalmente y se conserva como un distributivo secundario dentro de la planicie deltaica. Esta configuración ha sido interpretada como el resultado del retrabajo morfodinámico de los bancos de desembocadura bajo la influencia de forzantes estuarinas, como el oleaje y las mareas (Olariu y Bhattacharya, 2006).

Así, la evolución de los bancos de desembocadura se interpreta como una combinación de procesos fluviales y costeros, entre los cuales las sudestadas —oleajes durante ondas de tormenta provenientes del sur y sudeste— juegan un papel determinante. La formación de bermas de tormenta y escarpas en la línea de costa evidencia la influencia persistente de estos eventos, que actúan como fuerza controladora en la disposición y estabilización de los bancos. El retrabajo de los sedimentos durante las sudestadas provocaría la migración de depósitos hacia los márgenes norte de las desembocaduras, liberando al sur el paso de agua por canales subacuáticos. Como resultado, los canales distributivos secundarios y terminales en la planicie deltaica de la Primera Sección presentan una dirección general hacia el sudeste.

Esta configuración sugiere que la morfología actual de la planicie deltaica inferior constituye un paisaje relictivo, modelado por la acción repetida de tormentas mientras esa planicie conformaba el frente de avance progradante (Bhattacharya y Giosan, 2003). Esto explicaría las diferencias de altura entre los suelos de las islas interdistributivas en la planicie deltaica, y por qué algunas presentan mayor susceptibilidad a las inundaciones que otras, tal como es bien conocido por los habitantes de la Primera Sección.

Pero las variaciones en las alturas y morfologías de los bancos de desembocadura no pueden ser solo abordadas desde los efectos del oleaje en sudestadas, ya que otras variables influyentes son las descargas fluviales. Desde una perspectiva del aporte sedimentario, el sistema fluviodeltaico operaría regularmente bajo un régimen de aporte gradual y continuo, con acumulación diaria de carga de fondo que se deposita en bancos de desembocadura y en el delta subacuático, siguiendo un patrón friccional similar al propuesto por Wright (1977). Aunque la información directa sobre la carga de fondo es limitada, estudios como los de Sarubbi (2007), Schuerch *et al.* (2016)

y Menéndez *et al.* (2017) coinciden en que las mayores tasas de progradación del frente deltaico se dan tras eventos de descarga extraordinaria del río Paraná. Esta relación entre crecidas y sedimentación también se refleja en los mayores requerimientos de dragado, como fue observado por el Ing. Arévalo (comunicación personal, 2014).

Por lo tanto, se plantea que la evolución geomorfológica de la Primera Sección está gobernada principalmente por procesos episódicos: las crecidas del río Paraná, de baja

frecuencia, pero alto impacto, gobernarían el suministro sedimentario; mientras que las sudestadas, de mayor frecuencia, controlan el modelado y redistribución del sedimento en el frente de avance (D’Onofrio y Fiore 2004). En ausencia de estos eventos, la evolución morfológica es más lenta, dominada por procesos regulares como la acumulación marginal de sedimentos, la consolidación de marismas, el cierre de canales menores y la colonización por vegetación palustre (Kandus *et al.*, 2025)

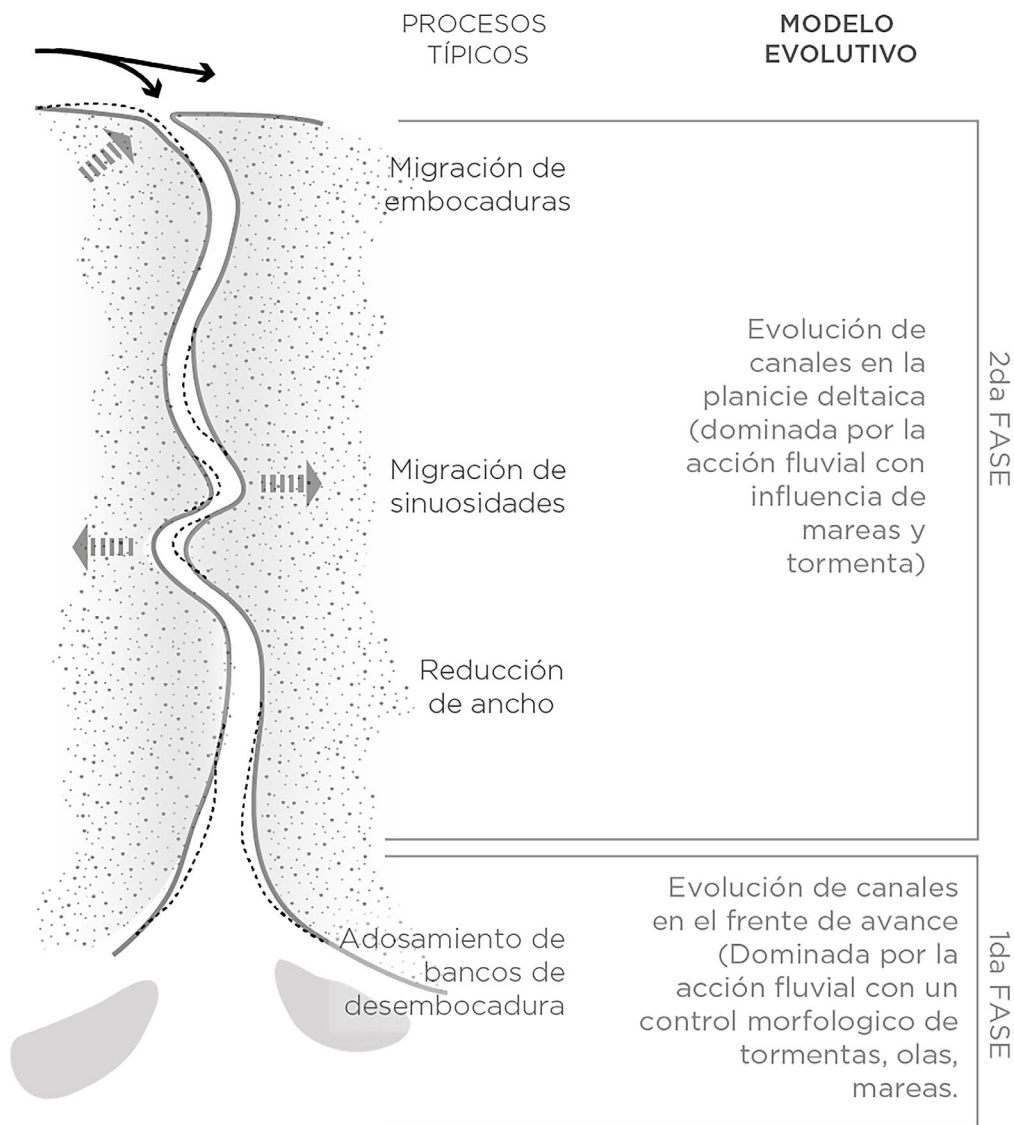


Figura 5 Modelo geomorfológico evolutivo esquemático de un canal distributivo de la Primera Sección.

En la planicie deltaica, ya desconectada de la dinámica costera influenciada por el oleaje en ondas de tormenta, los canales distributarios evolucionan por migraciones laterales, acreción de bancos laterales en embocaduras y márgenes de los canales. Casos como el de la Vuelta Mala del río Capitán, en el que se midieron con tasas de migración lateral entre 0.2 y 0.5 m/año (Tabla 2), y la Vuelta del Tordillo en el río Paraná de las Palmas, con tasas de 0.3 m/año (Den Bieman *et al.*, 2010), muestran una dinámica similar que sugiere que la velocidad de erosión por factores naturales no depende necesariamente de las dimensiones del canal.

Si bien el modelo propuesto refleja de manera adecuada la dinámica geomorfológica de la Primera Sección y puede extrapolarse a sectores del frente deltaico sur vinculados al Paraná de las Palmas, su aplicabilidad al Sistema Fluvial Norte es limitada. En esa región, la mayor descarga del Paraná Guazú y sus distributarios en relación a la descarga que tiene el Paraná de las Palmas en la Primera Sección (Cavallotto, 1995; Sarubbi, 2007; Medina y Codignotto, 2013) tendería a contrarrestar el efecto morfodinámico de las sudestadas, favoreciendo un patrón distributivo más abierto y bifurcado, con menor influencia de los procesos costeros (Coleman y Wright, 1975; Bhattacharya y Giosan, 2006).

Otra limitación potencial del modelo se vincula con posibles alteraciones en el régimen de aporte sedimentario desde la cuenca del Plata. A escala regional, dicho aporte está condicionado por múltiples forzantes, tanto climáticos como antrópicos. Por un lado, el aumento sostenido de caudales registrado en el río Bermejo desde la década de 1970 —principal fuente de sedimentos limosos (Sarubbi 2007)— se asocia a fenómenos de variabilidad climática como el ENSO, la Oscilación Decadal del Pacífico y las anomalías en la temperatura superficial del Atlántico Sur (Glick *et al.*, 2025). Por otro lado, el cambio climático global, a través del incremento en la intensidad de precipitaciones (Barros 2004), y el cambio en el uso del suelo, la deforestación (Zulaica *et al.*, 2015) y la operación de embalses como el Yacyretá (Rojas 2013), podrían reconfigurar tanto los flujos sedimentarios como la morfología deltaica.

6. Conclusión

En la Primera Sección del Delta, el sistema de drenaje está constituido por un canal principal (río Paraná de las Palmas), canales secundarios, terminales y distributarios como el río Luján. Además, canales menores, cárcavas y canales de mareadrenanlasislasinterdistributarias, reflejando dinámicas locales de escurrimiento y mareas. En la planicie deltaica inferior se identificaron más de diez geoformas distintas, entre ellas: canales subácueos, bancos de desembocadura que se estabilizan progresivamente con marismas bajas y altas, bermas de tormenta que constituyen líneas de costa, bajos, canales distributarios secundarios, entre otras. La identificación detallada de estas geoformas permitirá redefinir la línea de costa en sectores dinámicos y mejorar la gestión de humedales en el frente de avance.

Se propone un modelo evolutivo en dos fases para los canales de la Primera Sección del delta del Paraná. La primera fase comprende la formación de canales en el frente de avance, donde el proceso de adosamiento de bancos de desembocadura sigue tres etapas consecutivas: (1) ramificación de canales terminales a partir de nuevos bancos formados en el frente deltaico; (2) acreción de estos bancos acompañada por la formación de bermas de tormenta que definen la línea de costa; y (3) colmatación parcial de uno de los canales bifurcados en el banco de desembocadura, que queda como distributivo secundario, mientras el banco se adosa a la margen del canal terminal principal. Se estimó que la duración total de este proceso es aproximadamente de 30 años.

La segunda fase se refiere a la evolución de los canales dentro de la planicie deltaica, dominada por procesos fluviales asociados a la formación de bancos laterales. En esta etapa se reconocen tres patrones geomorfológicos: disminución del ancho del canal, migración y colmatación de embocaduras y desplazamiento lateral de canales sinuosos. En este contexto, se identificó un umbral para la tasa de erosión natural de hasta 0.5 m/año, observado principalmente en sectores de migración lateral activa como Vuelta Mala.

El modelo geomorfológico desarrollado permite comprender la tendencia general de los canales de la Primera Sección hacia la colmatación, limitada únicamente por procesos erosivos localizados. Este conocimiento orienta futuras investigaciones hidrosedimentológicas en la región y constituye una línea de base útil para monitorear y detectar cambios en los patrones de sedimentación, ya sea por el predominio de procesos de retrabajo inducidos por sudestadas o por un mayor aporte sedimentario desde la cuenca. Además, ofrece herramientas valiosas para la planificación y gestión del sistema deltaico, incluyendo el mantenimiento de canales navegables mediante dragado, la delimitación de la línea de costa y la preservación de humedales en el frente de avance.

Contribuciones de los autores

(1) Conceptualización: AQ, MSC; (2) Análisis o adquisición de datos: AQ; (3) Desarrollo metodológico/técnico: AQ; (4) Redacción del manuscrito original: AQ; (5) Redacción del manuscrito corregido y editado: AQ; (6) Diseño gráfico: AQ; (7) Interpretación: AQ, MSC; (8) Financiamiento: AQ, MSC.

Financiamiento

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires (FCEN-UBA).

Agradecimientos

Al personal del Servicio de Hidrografía Naval y su departamento de mareas por los datos históricos hidrométricos. Al personal y socios del Tigre Sailing Club por el mantenimiento del puerto desde el que salieron las navegaciones de relevamiento. A los diseñadores María B. Bonaz y Martín F. Simonyan por la colaboración en la realización de las Figuras 1, 2, 4 y 5. Finalmente, a los revisores Edgardo M. Latrubesse y Paula

Santi Malnis por sus críticas y comentarios que permitieron mejorar sustancialmente el presente manuscrito.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Editora a cargo

Laura P. Perucca.

Referencias

- Aguirre-Glik, J.O.A., Hurtado, S.I., Zaninelli, P.G., Adduca, S., 2025, Variabilidad del caudal del río Bermejo en la alta cuenca: relación con la precipitación y principales forzantes del sistema acoplado océano-atmósfera: *Meteorologica*, 50, e039. <https://doi.org/10.24215/1850468Xe039>
- Amsler, M.L., Drago, E.C., Paira, A.R., 2007, Fluvial sediments: main channel and floodplain interrelationships, in Iriondo, M.H., Paggi, J.C., Parma, M.J. (eds.), *The Middle Paraná River: limnology of a subtropical wetland*: Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 123–142. https://doi.org/10.1007/978-3-540-70624-3_5
- Anthony, E.J., 2015, Wave influence in the construction, shaping and destruction of river deltas: A review: *Marine Geology*, 361, 53–78. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.12.004>
- Balay, M.A., 1961, *El Río de la Plata entre la atmósfera y el mar*: Publicación H-621: Buenos Aires, Argentina, Servicio de Hidrografía Naval de la Armada Argentina, 153 p.
- Barros, V., 2004, Segundo informe al proyecto de la Agenda Ambiental de Argentina, componente Cambio Climático: Fundación

- Torcuato Di Tella, Informe, 25 p.
- Bhattacharya, J.P., Giosan, L., 2003, Wave-Influenced Delta: Geomorphological implications for facies reconstruction: *Sedimentology*, 50, 187–210. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2003.00545.x>
- Bombardelli, F.A., Menéndez, A.N., Brea, J.D., Lapetina, M.R. Uriburu-Quirno, M., 1994, Estudio hidrodinámico del Delta del río Paraná mediante modelación matemática: Brasil, Instituto Nacional del Agua, 103–137.
- Caballé, M., Ganuza, D., Coriale, N., Bravo-Almonacid, M., 2005, Recursos areneros en el Delta del Paraná y Litoral Atlántico, en de Barrio, R.E., Etcheverry, R.O., Caballé, M.F., Llambías, E.J. (eds.), *Geología y recursos minerales de la Provincia de Buenos Aires*, Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata: Buenos Aires, Asociación Geológica Argentina, 435–440.
- Camilloni, I.A., Barros, V.R., 2003, Extreme discharge events in the Paraná River and their climate forcing: *Journal of Hydrology*, 278, 94–106. [https://doi.org/10.1016/s0022-1694\(03\)00133-1](https://doi.org/10.1016/s0022-1694(03)00133-1)
- Cavallotto, J.L., Violante, R.A., 2005a, Geología y Geomorfología del Río de la Plata, en de Barrio, R.E., Etcheverry, R.O., Caballé, M.F., Llambías, E.J. (eds.), *Geología y recursos minerales de la Provincia de Buenos Aires*, Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino: Buenos Aires, Asociación Geológica Argentina, 237–253.
- Cavallotto, J.L., Violante, R.A., Colombo, F., 2005b, Evolución y cambios ambientales de la llanura costera de la cabecera del Río de la Plata: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 60, 353–367.
- Codignotto, J.O., Marcomini, S.C., 1993, Argentine deltas morphology, in Eighth Symposium on Coastal and Ocean Management: New Orleans, Louisiana, 323–336.
- Coleman, J.M., Huh, O.K., 2004, Major deltas of the world: A perspective from space: Baton Rouge, Louisiana, Coastal Studies Institute, Louisiana State University, 74 p.
- Coleman, J.M., Wright, L., 1975, Modern River Deltas: Variability of Processes and Sand Bodies in Broussard, M.L.S. (ed.), *Deltas, Models for Exploration*: Houston Geological Society, 99–150.
- Coleman, J.M., Roberts, H.H., Stone, G.W. 1998. Mississippi River delta: An overview: *Journal of Coastal Research*, 14, 698–716.
- Colombo, F., Serra, J., Cabello, P., Bedmar, J.M., Isla, F.I., 2021, Chronology of recent sedimentary infill of the Inner Río de la Plata Estuary, Argentina: *Journal Iberian Geology*, 47, 663–684. <https://doi.org/10.1007/s41513-021-00176-x>
- Cricelli, S., Galcerán, V., Obregón, R.L., 2017, Canales de navegación: proyectos en el delta del río Paraná, en XVI Congreso de Historia de los Pueblos de la Provincia de Buenos Aires: Argentina.
- Den-Bieman, J., van de Koppel, M., van Velzen, G., Verbruggen, W., 2010, Erosion of river banks along Paraná de las Palmas River: Países Bajos, Delft University of Technology, Section Hydraulic Engineering, 175 p.
- Depetris, P.J., Probst, J., Pasquini, A.I., Gaiero, D.M., 2003, The geochemical characteristics of the Paraná River suspended sediment load: an initial assessment: *Hydrological Processes*, 17, 1267–1277. <https://doi.org/10.1002/hyp.1283>
- Donadille, G., Postma, J., Prol, L., Vizia, C. 2010, Producciones, endicamientos y medios de vida en el Delta del Paraná, en Blanco, D.E., Méndez, F.M. (eds.), *Endicamientos y terraplenes en el Delta del Paraná: Situación, efectos ambientales y marco jurídico*: Buenos Aires, Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales, 65–81.
- D’Onofrio, E.E., Fiore, M.M.E., 2002, Influencia de los caudales aportados por los ríos Paraná y Uruguay en el nivel medio del puerto de Buenos Aires: Buenos Aires, Departamento de Oceanografía, Servicio de Hidrografía Naval, Reporte Técnico, 7 p.

- Dragani, W.C., Romero, S.I., 2004, Impact of a possible local wind change on the wave climate in the upper Río de la Plata: *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24, 1149–1157. <https://doi.org/10.1002/joc.1049>
- Galafassi, G.P., 2005, La pampeanización del Delta: sociología e historia del proceso de transformación productiva, social y ambiental del Bajo Delta del Paraná: Buenos Aires, Argentina, Extramuros Ediciones, 221 p.
- Gallo, M., Tripaldi, A., López, R.A., Marcomini, S.C., Orgeira, M.J., 2021, Facies sedimentarias del frente de progradación del delta del Río Paraná, estuario del Río de la Plata, *Sudamérica: Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 28, 61–90.
- Galloway, W.E., 1975, Process Framework for Describing the Morphologic and Stratigraphic Evolution of Deltaic Depositional Systems: *Houston Geological Society*, 87–98.
- Groeber, P., 1961, Contribuciones al conocimiento geológico del Delta del Paraná y alrededores: Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICBA), 9–54.
- Guerrero, R.A., Acha, E.M., Framin, M.B., Lasta, C.A., 1997, Physical oceanography of the Río de la Plata Estuary, Argentina: *Continental Shelf Research*, 17, 727–742. [https://doi.org/10.1016/s0278-4343\(96\)00061-1](https://doi.org/10.1016/s0278-4343(96)00061-1)
- Gurnell, A.M., Downward, S., Jones, R., 1994, Channel planform change on the river dee meanders, 1876–1992: *Regulated Rivers: Research & Management*, 9, 187–204.
- Hiatt, M., Passalacqua, P., 2015, Hydrological connectivity in river deltas: The first-order importance of channel-island exchange: *Water Resources Research*, 51, 2264–2282. <https://doi.org/10.1002/2014wr016149>
- Hori, K., Saito, Y., 2022, Classification, architecture, and evolution of large river deltas: *Large Rivers: Geomorphology and Management*, Second Edition, 114–145. <https://doi.org/10.1002/9781119412632.ch6>
- Iriondo, M., 2004, The littoral complex at the Paraná mouth: *Quaternary International*, 114, 143–154. [https://doi.org/10.1016/s1040-6182\(03\)00049-1](https://doi.org/10.1016/s1040-6182(03)00049-1)
- Isupova, M.V., Mikhailov, V.N., 2018, Long-term variations of water runoff and suspended sediment yield in the Paraná and Uruguay rivers: *Water Resources*, 45, 846–860. <https://doi.org/10.1134/s0097807818060088>
- Kandus, P., Malvárez, A.I., 2004, Vegetation patterns and change analysis in the lower delta islands of the Paraná River (Argentina): *Wetlands*, 24, 620–632. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2004\)024\[0620:vpa cai\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2004)024[0620:vpa cai]2.0.co;2)
- Kandus, P., Quintana, R.D., 2016, The Paraná River Delta, in Finlayson, C., Milton, G., Prentice, R., Davidson, N. (eds.), *The Wetland Book*: Springer, Dordrecht, 1–9. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4001-3_232
- Kandus, P., Gayol, M.P., Morandera, N.S., Minotti, P.G., Ramonell, C.G., 2025, Wetland landscapes of the Lower Paraná River floodplain from an eco-hydrogeomorphic approach: *Journal of South American Earth Sciences*, 105558. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2025.105558>
- Kuehl, S.A., Allison, M.A., Goodbred, S.L., Kudrass, H., Giosan, L., Bhattacharya, J.P., 2005, The Ganges-Brahmaputra Delta: *SEPM Special Publication*, 83, 413–434.
- Latrubesse, E.M., Stevaux, J.C., Sinha, R., 2005, Tropical rivers: *Geomorphology*, 70(3-4), 187–206. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.02.005>
- Marchetti, Z.Y., Villalba, A.B., Ramonell, C., Brumnich, F., Pereira, M.S., 2020, Biogeomorphic succession in a fluvial-lacustrine delta of the Middle Paraná River (Argentina): Feedbacks between vegetation and morphodynamics: *Science of the Total Environment*, 739, 139799. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139799>

- Marcomini, S.C., Tripaldi, A., Leal, P., López, R.A., Alonso, M.S., Ciccioli, P., Quesada, A., Bunicontro, P., 2018, Morfodinámica y sedimentación de un sector del frente deltaico del Paraná entre los años 1933 y 2016, provincia de Buenos Aires, Argentina: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 75, 1–16.
- Marcolini, S., Parker, G., 1992, Geomorfología del Delta del Paraná y su extensión hacia el Río de la Plata: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 47, 243–249.
- Medina, R.A., Codignotto, J.O., 2013, Evolución del delta del río Paraná y su posible vinculación con el calentamiento global, 15, 191–200. <https://doi.org/10.22179/revmacn.15.181>
- Menendez, A., Kazimierski, L.D., Re, M., 2017, Sedimentación extraordinaria en los canales de navegación de Martín García en Actas del VIII Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos: Córdoba, Argentina 11 p.
- Milana, J.P., Kröhling, D., 2015, Climate changes and solar cycles recorded at the Holocene Paraná Delta, and their impact on human population: *Scientific Reports*, 5, 1–8. <https://doi.org/10.1038/srep12851>
- Olariu, C., Bhattacharya, J.P., 2006, Terminal Distributary Channels and Delta Front Architecture of River-Dominated Delta Systems: *Journal of Sedimentary Research*, 76, 212–233. <https://doi.org/10.2110/jsr.2006.026>
- Parker, G., 1990, Estratigrafía del Río de la Plata: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 45, 193–204.
- Payenberg, T.H.D., Lang, S.C., 2003, Reservoir geometry of fluvial distributary channels— Implications for Northwest Shelf, Australia, deltaic successions: *The APPEA Journal*, 43, 325–338. <https://doi.org/10.1071/aj02017>
- Poi de Neiff, A., 2016, Camalotes: Historia de una planta viajera: *Ciencia Hoy* 25, 31–35.
- Prat, M.C., Salomon, J.N., 1998, Milieux naturels et mise dans le delta du Parana (Argentine)/ Medios naturales y valorización del espacio en el delta del Parana (Argentina): *Travaux du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée*, 5, 5–70. <https://doi.org/10.3406/tltpa.1998.1073>
- Quesada, A., 2019, Geomorfología ambiental de la Primera Sección del delta del río Paraná: erosión (natural y antrópica) en los canales distributarios y manejo de sus márgenes: Argentina, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, tesis doctoral, 232 p.
- Quesada, A., Sirolli, H., Martín, R.S., Keitelman, V., 2022, Paleoambientes y colmatación de la albufera antropogénica rioplatense Reserva Ecológica Ciudad Universitaria — Costanera Norte (Buenos Aires, Argentina): *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 74(2), A240622. <https://doi.org/10.18268/bsgm2022v74n2a240622>
- Rojas, H.A., 2013, Sólidos en suspensión, erosión y sedimentación en un tramo del río Paraná, embalse Yacyretá: *Reportes Científicos de la FACEN*, 4, 34–44.
- Rossi, R.C., 1962, La industria arenera argentina: Buenos Aires, Argentina, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Económicas, tesis doctoral 77 p.
- Sarubbi, A., 2007, Análisis del Avance del Frente del Delta del Río Paraná: Buenos Aires, Argentina, Universidad de Buenos Aires, tesis doctoral, 145 p.
- Schuerch, M., Scholten, J., Carretero, S., García-Rodríguez, F., Kumbier, K., Baechtiger, M., Liebetrau, V., 2016, The effect of long-term and decadal climate and hydrology variations on estuarine marsh dynamics: An identifying case study from the Río de la Plata: *Geomorphology*, 269, 122–132. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.06.029>
- Servicio de Hidrografía Naval (SNH), 1999, Carta Náutica H-130 Delta del Paraná, escala 1: 150,000: Argentina, Servicio de Hidrografía Naval de la Armada Argentina, 1 carta náutica.

- Simionato, C.G., Dragani, W., Meccia, V., Nuñez, M., 2004, A numerical study of the barotropic circulation of the Río de la Plata estuary: sensitivity to bathymetry: *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61, 261–273. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2004.05.005>
- Sirolli, H., 2018, Regeneración de especies nativas en los bosques de albardón del Delta Frontal del río Paraná (Buenos Aires, Argentina): Buenos Aires, Argentina, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, tesis doctoral, 147 p.
- Soldano, F.A., 1947, Régimen y aprovechamiento de la red fluvial Argentina. Parte I: El río Paraná y sus tributarios: Buenos Aires, Argentina, Editorial Cimera, 264 p.
- Stevaux, J.C., 2000, Climatic events during the late Pleistocene and Holocene in the upper Parana River: Correlation with NE Argentina and South-Central Brazil: *Quaternary International*, 72(1), 73–85. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(00\)00023-9](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(00)00023-9)
- UBANEX, 2011, Línea de base preliminar del sistema de islas del frente de avance de la 1° Sección del Delta Bonaerense (Tigre): Buenos Aires, Argentina, Universidad de Buenos Aires, Informe técnico, 82 p.
- Verheij, H.J., 2000, Samenwerkingsproject modellering afslagoevers: Voortgangsrapportage 1999 Países Bajos, Deltares (WL), 66 p.
- Wright, L.D., 1977, Sediment transport and deposition at river mouths: a synthesis: *Geological Society of America Bulletin*, 88, 857–868. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1977\)88%3C857:stadar%3E2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1977)88%3C857:stadar%3E2.0.co;2)
- Zagare, V.M.E., 2019, Los desafíos de la planificación en deltas metropolitanos emergentes. Un método adaptativo y participativo para el Delta Inferior del Paraná: *AREA-Agenda de Reflexión en Arquitectura, Diseño y Urbanismo*, 1–20.
- Zagel, M.A., 2025, Análisis ambiental de la extracción y el uso de la arena del delta del Paraná: *Geográfica Digital*, 20, 34–55. <https://doi.org/10.30972/geo.20396671>
- Zulaica, L., Vazquez, P., Celemín, J.P., 2015, Servicios ecosistémicos y deforestación en la selva paranaense: análisis comparativo en la cuenca binacional del río San Antonio (Argentina-Brasil) entre 2001 y 2011: *RAEGA - O Espaço Geográfico Em Análise*, 34, 167–192. <https://doi.org/10.5380/raega.v34i0.36798>