

## ABORDAJE INTERINSTITUCIONAL EN EL ESTUDIO DELTA DEL RÍO PARANÁ

Sabarots Gerbec M.<sup>1</sup>, Borús J.A. <sup>1</sup>, Irigoyen M. <sup>1</sup>, Gonzalez A. <sup>2</sup> y Álvarez J. <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional del Agua, Buenos Aires, Argentina

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

Au. Ezeiza – Cañuelas, tramo Jorge Newbery Km 1,620, Ezeiza, Argentina. (54-11) 4480-4500 Int:

E-mail: msabger@gmail.com - Web: <http://www.ina-gob.ar/>

### RESUMEN

La región del Delta del río Paraná constituye una zona de intensa actividad productiva, teniendo en cuenta que es atravesada por la principal vía fluvial comercial estratégica para Argentina y países limítrofes. Además se desarrolla una importante actividad agrícola-ganadera-forestal en la zona de islas. Desde el punto de vista ambiental, contiene un reducto de humedales únicos que resultan determinante en distintos procesos hidrológicos, biológicos y geomorfológicos.

Comprender la dinámica hídrica del sistema posibilita dar respuestas a preguntas relacionadas a la vinculación entre la sociedad y el medio (afectación antrópica, pronósticos hidrométricos, etc). La modelación numérica resulta una herramienta fundamental para dar estas respuestas y su validez es mayor al incrementar la cantidad de actores que participan en el desarrollo la misma.

En este sentido se plantea un estudio que articula las capacidades institucionales y académicas del Instituto Nacional del Agua (INA) y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Desde el INA se cuenta con una vasta experiencia en el estudio hidrológico e hidráulico del Delta desde sus distintos grupos de trabajo (hidráulica computacional, hidráulica fluvial, sistema de información y alerta hidrológico). Por otra parte el INTA, desde su Agencia Estación Experimental Agropecuaria Delta, tiene una fuerte vinculación y presencia en el territorio, especialmente con productores y referentes locales.

La cooperación solidaria entre instituciones, junto con la participación distintos actores, mejoran la calidad del estudio y posibilitan la optimización del uso de recursos.

En este trabajo se presenta del enfoque abarcativo con el que se encara el estudio y las líneas a desarrollar en el futuro. Por otra parte, se muestran algunos de los productos obtenidos hasta el momento a partir de trabajo de campo (aforos, instalación de escalas hidrométricas, registro de niveles, relevamiento de cerros de escala, etc) junto con resultados de la modelación.

### ABSTRACT

The Paraná River Delta region is an area of intense productive activity, taking into account that contains the main strategic commercial waterway for Argentina and bordering countries. In addition an important agricultural-livestock-forestry activity is developed in the area of islands. From the environmental point of view, it contains a network of unique wetlands that are determinant in different hydrological, biological and geomorphological processes.

Understanding the system's hydrodynamics, it is possible to answer questions related to the relation between society and the environment (anthropic involvement, hydrometric forecasts, etc.). Numerical modeling is a fundamental tool to answer these questions and their validity is greater by increasing the number of actors involved in the development thereof.

The study presented, articulates the institutional and academic capacities of the National Water Institute (INA) and the National Institute of Agricultural Technology (INTA).

The INA has vast experience in the hydrological and hydraulic study of the Delta from its different working groups (computational hydraulics, fluvial hydraulics, information system and hydrological alert). On the other hand, INTA, from its Agencia Experimental Agropecuaria Delta, has a strong connection and presence in the territory.

The partnership between institutions, with the participation of different stake holders, improve the quality of the study and make possible the optimization of the use of resources.

## INTRODUCCION

El Delta del río Paraná comprende un área de aproximadamente 1.500.000 ha desde su nacimiento en la localidad de Diamante (Entre Ríos) hasta su desembocadura en el estuario del Río de la Plata (Figura 1).

La región constituye una zona de intensa actividad productiva, teniendo en cuenta que es atravesada por la principal vía fluvial comercial estratégica para Argentina y países limítrofes. Además se desarrolla una importante actividad agrícola-ganadera-forestal en la zona de islas. Desde el punto de vista ambiental, contiene un reducto de humedales únicos que resultan determinante en distintos procesos hidrológicos, biológicos y geomorfológicos.

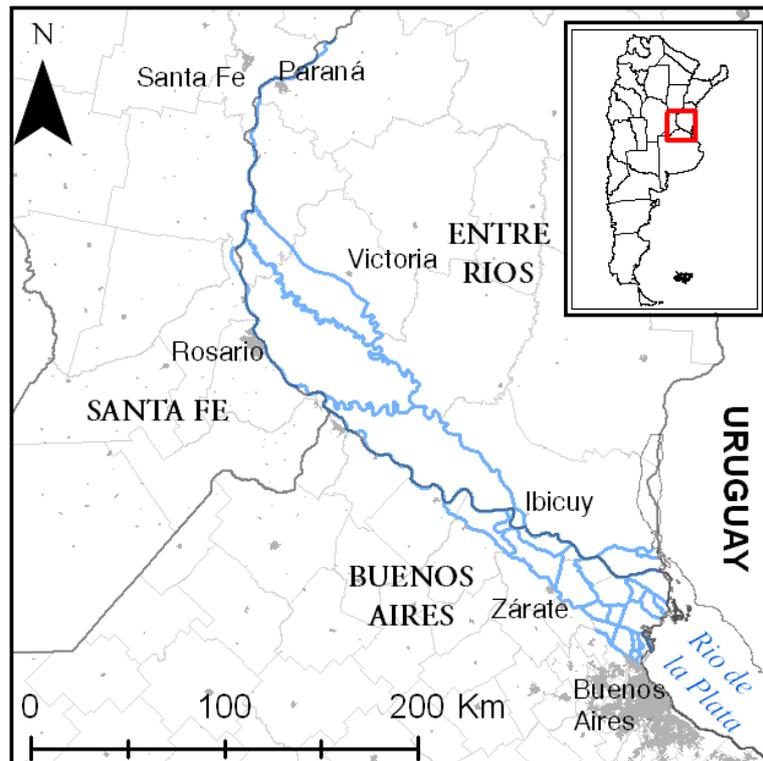


Figura 1.- Área de estudio.

Dada la singular geomorfología del Delta del río Paraná, vastas áreas productivas quedan expuestas a frecuentes inundaciones. Estos eventos tienen dos causantes principales, las crecidas del río Paraná debido al aumento de caudales en su vasta cuenca y las crecidas de río de la Plata debido al incremento en los niveles por sudestadas.

Desde el punto de vista de la navegación, las bajantes también son críticas, por el alto volumen comercial de la vía navegable.

## ABORDAJE DEL PROBLEMA

Comprender la dinámica hídrica del sistema posibilita dar respuestas a preguntas relacionadas a la vinculación entre la sociedad y el medio (afectación antrópica, pronósticos hidrométricos, etc). La modelación numérica resulta una herramienta fundamental para resolver dichos interrogantes y su validez es mayor al incrementar la cantidad de actores que participan en el desarrollo la misma.

En este sentido se plantea un estudio que articula las capacidades institucionales y académicas del Instituto Nacional del Agua (INA) y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Desde el INA se cuenta con una vasta experiencia en el estudio hidrológico e hidráulico del Delta desde sus distintos grupos de trabajo (hidráulica computacional, hidráulica fluvial, sistema de información y alerta hidrológico). Por otra parte el INTA, desde su Agencia Estación Experimental Agropecuaria Delta, tiene una fuerte vinculación y presencia en el territorio, especialmente con productores y referentes locales.

Dependiendo del tópico que se quiera estudiar, se desarrollan distintas redes de interrelación en función de la vinculación de los actores con el problema.

Si se analiza el problema de las inundaciones en el Delta y cómo las mismas afectan a los actores productivos que desarrollan actividades de ganadería, forestación, apicultura y pesca, contar con una herramienta de pronóstico de niveles resulta imprescindible. La Figura 2 presenta las relaciones que existen entre las distintas instituciones y actores o referentes locales.

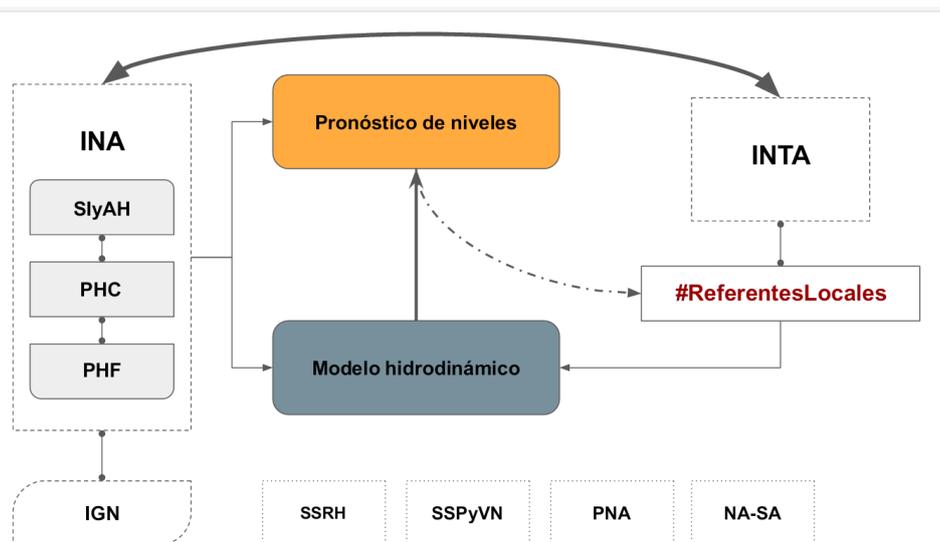
Dentro del Instituto Nacional del Agua (INA) el Servicio de Información y Alerta Hidrológico (SIyAH) es responsable de dar información de pronóstico de niveles en toda la Cuenca del río de la Plata. Para dicho pronóstico, se debe contar con un Modelo Hidrodinámico, en este caso particular del Delta del río Paraná. A tal fin, internamente en el INA, el SIyAH debe interactuar con el Programa de Hidráulica Computacional (PHC) y el Programa de Hidráulica Fluvial (PHC), ambos grupos de trabajo con gran experiencia en la modelación numérica de ríos, importante capacidad computacional y equipamiento adecuado de realizar mediciones de aforo.

Dado que los pronósticos de niveles se realizan asociados a distintas escalas hidrométricas emplazadas en el Delta (principalmente en los puertos), se debe contar con información confiable sobre las referencias altimétricas de dichas escalas. Para esto, el INA cuenta con el apoyo del Instituto Geográfico Nacional (IGN), que tiene la capacidad profesional y los recursos para realizar las tareas de nivelación topografías necesarias.

Aún con la experticia del INA y el apoyo del IGN, no resultan suficientes para el desarrollo de un modelo numérico para pronóstico, ya que se requiere las lecturas de escala hidrométricas históricas registradas en el Delta. Estos datos de nivel, fundamentales para el proceso de calibración y validación del modelo hidrodinámico, son provistos por distintas instituciones como la Subsecretaría de Recursos Hídricos (SSRH), la Subsecretaría de Puertos y Vías Navegables (SSPyVN), la Prefectura Naval Argentina (PNA), e incluso de otros organismos que realicen un registro de niveles de agua en forma sistemático como por ejemplo Nucleoeléctrica Argentina Sociedad Anónima (NA-SA).

Con todo lo anterior, y si se logran alinear voluntades e intereses, es que se puede realizar un desarrollo útil, confiable y sostenible, como lo es el modelo hidrodinámico con fines de pronóstico. Pero si no existe una vinculación con los destinatarios finales del producto, el esfuerzo resulta estéril, ya que no se cuenta con las preguntas e inquietudes genuinas de quienes trabajan y habitan en el Delta. Es por esto que la vinculación con los Referentes Locales es tan importante como las instancias anteriores.

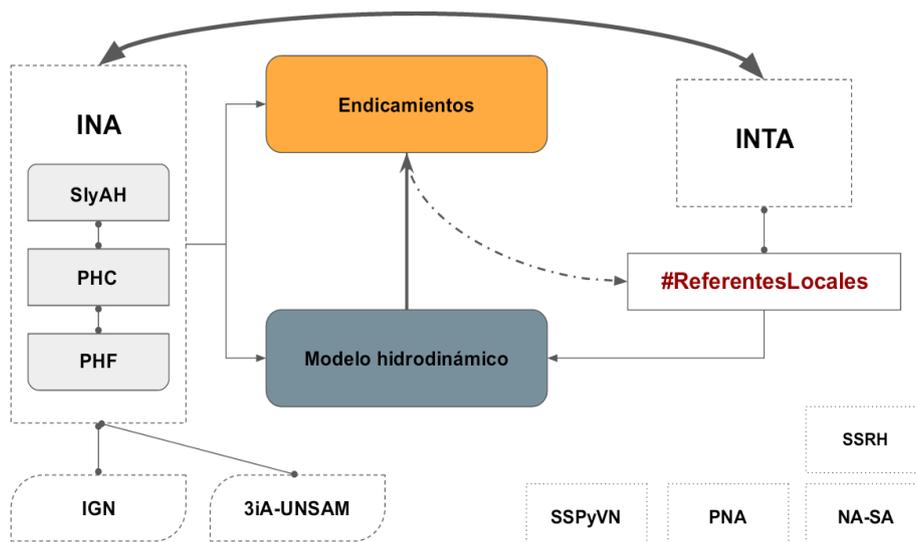
Ahora bien, para lograr dicha interacción con los Referentes Locales es que el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), principalmente con las Agencias con campo de acción en el Delta, es la piedra angular en la articulación final del estudio.



**Figura 2.-** Vinculaciones entre actores en relación a la generación de un sistema de pronóstico de niveles de agua para la zona Delta

Análogamente a la descripción de interrelaciones para el estudio de inundaciones y desarrollo de un sistema de pronóstico, se puede plantear lo mismo para el estudio de la afectación de los endicamientos emplazados en la llanura de inundación del Delta sobre la hidrodinámica. En este caso se presenta la Figura 3 en donde además de los actores antes expuestos también participan grupos con experiencia en el estudio de humedales como es el Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental de la Universidad de San Martín (3iA-UNSAM).

O bien, se estudia la dinámica de sedimentos en procesos de erosión/sedimentación sobre las márgenes, bocas de arroyos y vías navegables, se debe involucrar internamente al INA el Centro de Tecnología y Usos del Agua (CTUA) con capacidad de cuantificar variables de concentración de sedimentos, etc, y externamente a Referentes Locales y Puertos afectados, como se presenta en la Figura 4.



**Figura 3.-** Vinculaciones entre actores en relación al estudio de la afectación de endicamientos en el Delta

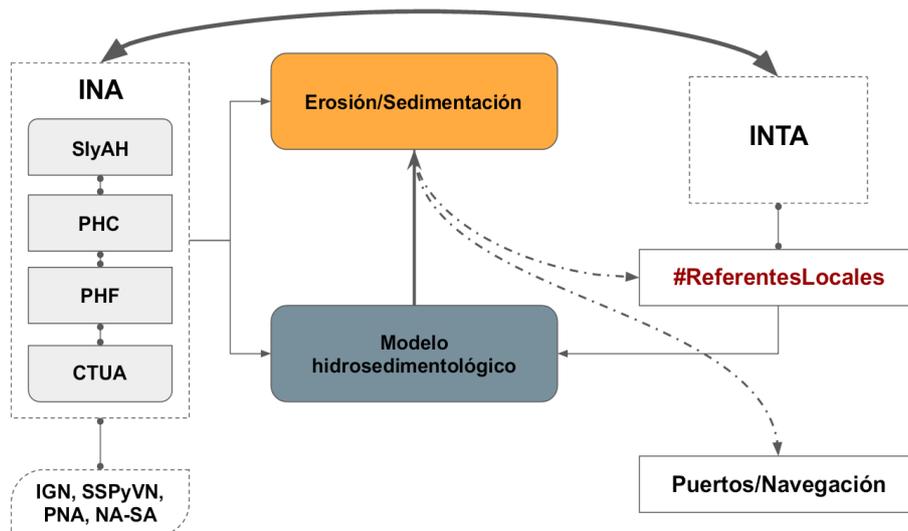


Figura 4.- Vinculaciones entre actores en relación al estudio de procesos de erosión/sedimentación en el Delta

## CAMPAÑAS

El presente estudio se enmarca en un proyecto en el que se quiere dar respuesta a distintas preguntas e inquietudes, pero tiene como hilo conductor el desarrollo de un modelo hidrodinámico que represente la dinámica del sistema Delta. Para esto es necesario alcanzar un estado de calibración del modelo en el que la mayor cantidad de variables posibles sean contrastadas con datos observados.

En este sentido, se vuelve indispensable contar con datos nivel y caudal medidos.

Para los niveles hidrométricos existen 3 frentes de trabajo:

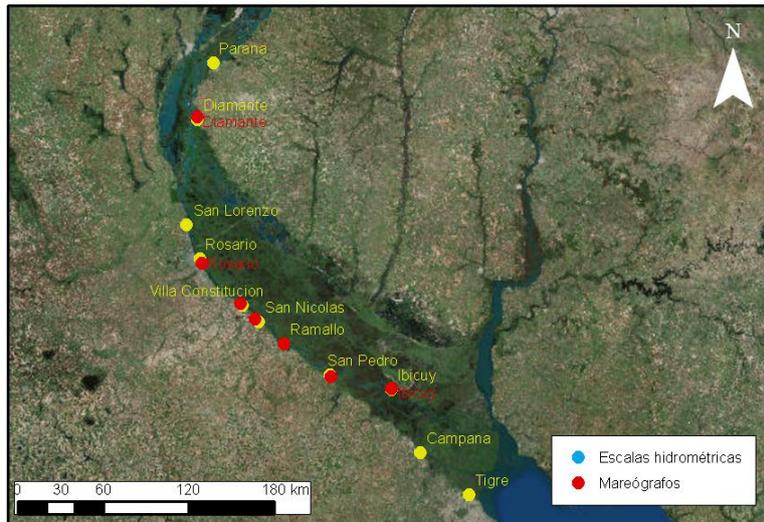
1. Recopilación de niveles medidos actualmente por organismos públicos o privados
2. Instalación de nuevos punto de medición mediante vinculación con referentes locales
3. Vinculación de referencias altimétricas de las escalas hidrométricas a una única referencia, el cero IGN

### Niveles

En lo que hace a la recopilación de niveles medidos se cuenta con los niveles medidos por PNA cada 12 hs (en situación normal del río). Estos datos permiten abarcar una ventana de tiempo amplia, pero la frecuencia de lectura resulta baja en el frente del Delta, donde la onda de marea del río de la Plata domina el comportamiento fluvial.

Con una mayor frecuencia de lectura (cada 20 minutos), se tienen los datos registrados por los mareógrafos de la SSPyVN, la cual tiene un buen registro de lo que ocurre en la vía del navegación. En la Figura 2 se presentan las escalas de PNA y mareógrafos de SSPyVN.

Adicionalmente se cuenta con registros aportados por empresas forestales, el INTA y NA-SA (Atucha).



**Figura 5.-** Ubicación de algunas escalas hidrométricas y mareógrafos.

Dada la extensión espacial del Delta, los datos medidos no resultan suficientes para alcanzar el nivel de detalle buscado, es necesario incorporar nuevos puntos de medición. Para esto, la articulación INA-INTA resulta fundamental por la magnitud e impacto de las tareas de extensión realizadas por el INTA en la zona. En este sentido se incorporan actores (habitantes o empresas) o referentes locales que muestran un importante interés en transmitir el saber local y facilitar la generación de información.

Luego se han definido distintos puntos donde resulta necesario la instalación de un nuevo punto de medición (automático o manual) y se cuenta con el acompañamiento logístico acorde. En la Figura 3 se observa la instalación de una escala hidrométrica y sensor de nivel sobre el Canal Seoane.



**Figura 6.-** Escala hidrométrica INA-INTA, ubicada en el predio del referente local Zemek

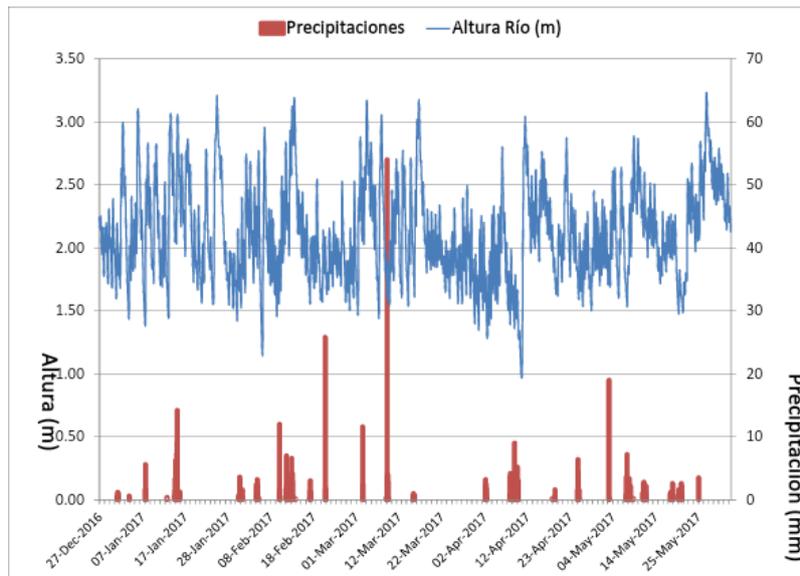


Figura 7.- Mediciones de niveles de agua en la escala INA-INTA (referente local Zemek)

Ahora bien, dado que para la construcción del modelo los niveles registrados deben estar referidos a un único cero de referencia vertical, resulta necesario contar con datos confiables de ceros de escala. Para eso se decidió actualizar la información disponible y se encaró una campaña de relevamiento en coordinación con el IGN, quien aportó la experticia que tiene en la materia.

Durante los meses de Noviembre y Diciembre de 2015 se relevaron los ceros de 15 escalas, en todos los sitios se instalaron nuevos puntos fijos para la nivelación, los cuales fueron documentados. En la Figura 8 se presenta por ejemplo una imagen de la escala del Puerto de Campana. Cabe destacar que muchas de las escalas se encuentran con un cierto grado de deterioro y en algunos casos con dificultosa accesibilidad.

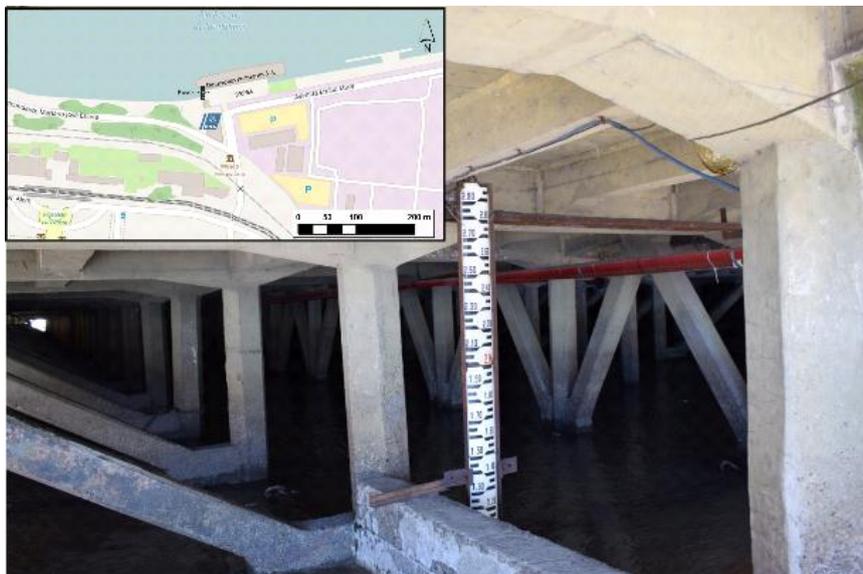


Figura 8.- Escala del Puerto de Campana

En la Tabla 1 se presentan los resultados de esa campaña.

**Tabla 1.-** Referencias altimétricas relevadas INA-IGN

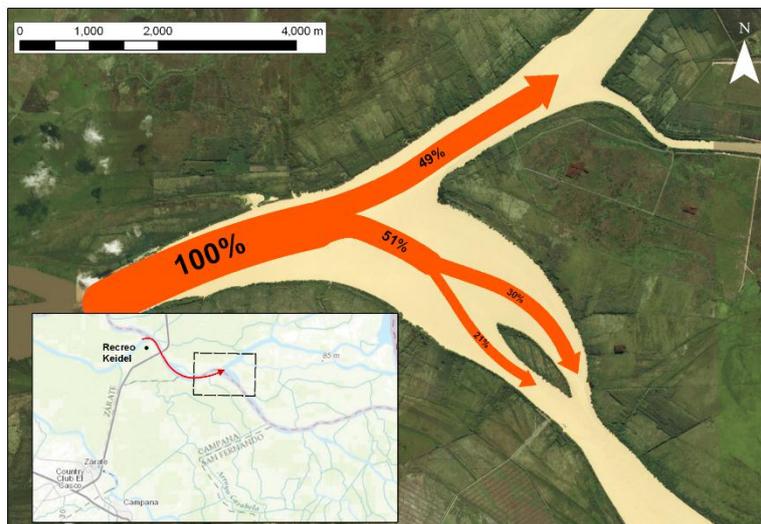
LOCALIDAD	COTA CERO (m ING)	LAT	LON	LUGAR
TIGRE	-0,01	-34.4203	-58.5793	Plazoleta Guillermo Brown, Tigre, Buenos Aires
CAMPANA	0,42	-34.1552	-58.9559	Desarrollo Portuario S.A., Campana, Buenos Aires
ZÁRATE	0,24	-34.1004	-59.0107	Prefectura Naval, Zarate, Buenos Aires
BARADERO	0,60	-33.798	-59.4995	Prefectura Naval, Baradero, Buenos Aires
RAMALLO	1,62	-33.4756	-59.9988	Muelle Público, Ramallo, Buenos Aires
SAN NICOLÁS	3,91	-33.3235	-60.218	Muelle Privado, San Nicolás, Buenos Aires
VILLA CONSTITUCIÓN	1,98	-33.2261	-60.3213	Predio Privado, Constitución, Santa Fe
SANTA FE	8,38	-31.6508	-60.6991	Muelle Público, La Capital, Santa Fe
PARANÁ	9,43	-31.7196	-60.5176	División Paraná Medio, Paraná, Entre Ríos
DIAMANTE	6,75	-32.0576	-60.6451	Muelle Diamante, Diamante, Entre Ríos
VICTORIA	1,56	-32.6316	-60.165	Muelle Victoria, Victoria, Entre Ríos
ROSARIO	2,92	-32.973	-60.6183	DNVN - DPI, Rosario, Santa Fe
SAN LORENZO	3,31			
SAN PEDRO	0,71	-33.6854	-59.6415	Muelle Privado, San Pedro, Buenos Aires
IBICUY	0,46	-33.7553	-59.1789	Muelle Ibicuy, Gualeguaychú, Entre Ríos

Caudales

Además de los niveles de agua, la correcta calibración se alcanza cuando se logran representar los volúmenes escurridos. Para esto se han realizado 6 campañas de aforo mediante ADCP (Acoustic Doppler current profiler). El principal objetivo es poder medir las particiones de caudales que se dan en las principales bifurcaciones del Delta.

Nuevamente, para esta tarea, la vinculación INA-INTA resulta fundamental para la coordinación logística que requieren estas campañas.

En las Figura 9 y 10 se presentan los resultados de particiones de caudales registrados en la Bifurcación Paraná Guazú – Paraná Bravo, medidos en Enero de 2017.



**Figura 9.-** Partición de caudales Guazú – Bravo

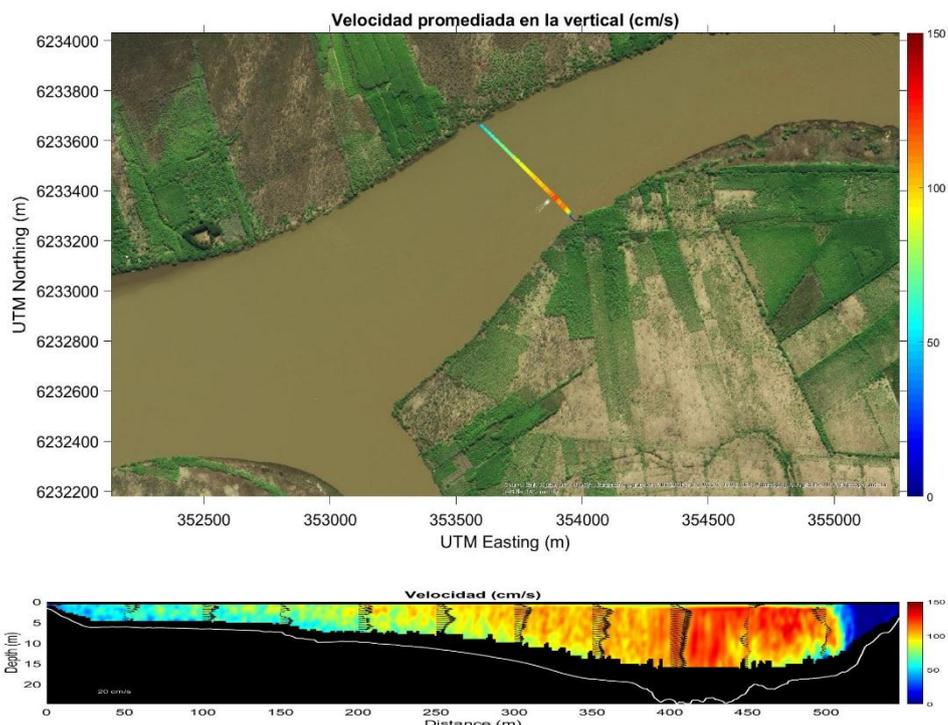


Figura 9.- Resultados de Velocidades para el aforo del Paraná Bravo – Enero 2017

La Tabla 2 presenta un resumen de los caudales medios aforados durante las campañas realizadas en 2017.

Tabla 2.- Caudales Medios Aforados en Campañas de 2017

LUGAR	LAT	LO N	FECHA	Caudal Medio Aforado (m³/s)
<i>Bifurcación Paraná Guazú/Bravo</i>				
Paraná Guazú aguas arriba del Paraná Bravo	-33.9471	-58.7948	11/01/2017	18742
Paraná Guazú aguas abajo del Paraná Bravo	-33.9697	-58.7312	12/01/2017	8829
Paraná Bravo	-33.9294	-58.7489	11/01/2017	8737
<i>Bifurcación Paraná Guazú - Paraná Mini</i>				
Paraná Guazú Aguas Arriba	-34.0385	-58.6244	23/05/2017	9610
Paraná Mini	-34.0453	-58.6086	23/05/2017	1058
<i>Bifurcación Paraná Guazú - Barca Grande</i>				
Barca Grande	-34.0443	-58.5872	24/05/2017	2868
Paraná Guazú Aguas Abajo	-34.0290	-58.5832	24/05/2017	5997
<i>Eje Paraná de las Palmas - Confluencia Paraná Guazú - Talavera</i>				
Paraná Palmas	-34.1792	-58.8630	03/07/2017	7400
Paraná Guazú Aguas Arriba	-33.8771	-58.9252	04/07/2017	14891
Paraná Guazú Aguas Abajo	-33.8940	-58.8947	04/07/2017	23730
Talavera	-33.8970	-58.9277	04/07/2017	8783
<i>Cinco Bocas</i>				
Paraná Guazú Aguas Abajo del Ibicyu	-33.8093	-59.1693	06/09/2017	9738
Paraná Guazú Aguas Arriba del Ibicyu	-33.8065	-59.1773	06/09/2017	5019
Ibicyu	-33.8031	-59.1738	06/09/2017	480
Zanja Mercadal	-33.8145	-59.2428	06/09/2017	242
Paraná Guazú Aguas Arriba del Talavera	-33.8164	-59.2226	06/09/2017	10836
Riacho Guazú	-33.8088	-59.2237	07/09/2017	860
Talavera	-33.8256	-59.2111	06/09/2017	6359

Sedimento en suspensión

Dentro de los objetivos del estudio del Delta está el abordaje hidrosedimentológico en los distintos cursos, es por esto que complementariamente a las campañas de aforo, se comenzó a tomar muestras de sedimento en suspensión. Debido a limitaciones tecnológicas, las cuales se están superando de forma progresiva, solo se muestrea a un metro de profundidad con un instrumento que se presenta en la Figura 11.



**Figura 11.-** Muestreador de sedimento en suspensión (DH-48 Sediment Sampler)

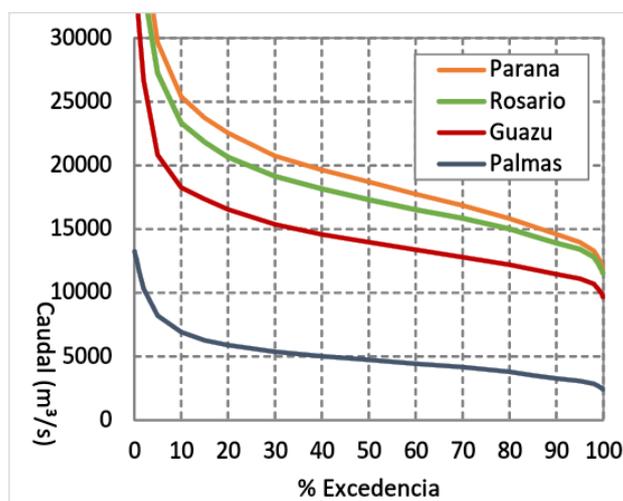
Las muestras de sedimento son analizadas por el CTUA-INA y los resultados de algunas de las campañas se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3.-** Concentraciones de Sedimentos Suspendidos Fijos

LUGAR	LAT	LON	FECHA	CONCENTRACION DE SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS (mg/l)
Paraná Guazú aguas arriba del Barca Grande	-34.0379	-58.6155	24/05/2017	53
Paraná Guazú aguas abajo del Barca Grande	-34.0308	-58.5861	24/05/2017	45
Paraná de las Palmas	-34.1786	-58.8698	03/07/2017	66
Paraná Guazú	-33.8787	-58.9202	04/07/2017	47
Talavera	-33.8938	-58.9234	04/07/2007	33

**MODELO NUMERICO**

Aunque el modelo numérico se encuentra en permanente desarrollo y mejoramiento, se han obtenido resultados preliminares que conforman una muestra del tipo de resultados que se pueden obtener en función de los requerimientos de los distintos actores vinculados al Delta.



**Figura 12:** Relación entre Niveles Medios Anuales y Extremos Mínimos Anuales.

En la Figura 5, se presentan un análisis estadístico de niveles asociados a una condición de aguas bajas, el cual surge de simulaciones del modelo hidrodinámico para el período 1975-2015.

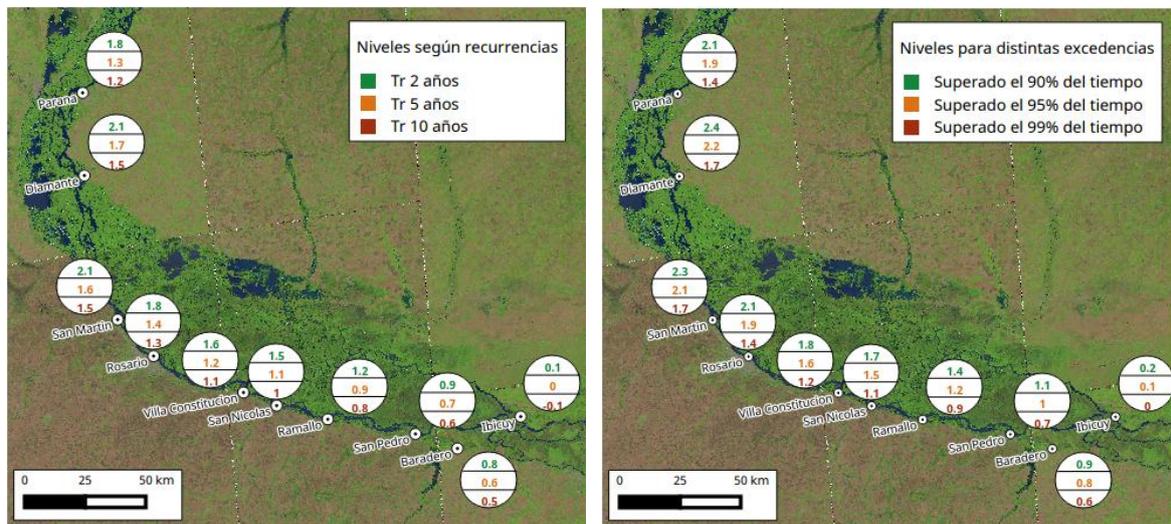


Figura 13.- Niveles (ref. al cero local) asociados a distintas recurrencias (izq.) y asociados a distintas excedencias (der.)

## CONCLUSIONES

La cooperación solidaria entre instituciones, junto con la participación distintos actores, mejoran la calidad del estudio y posibilitan la optimización del uso de recursos.

Además la incorporación de referentes locales en la construcción del modelo, no solo permite incorporar el saber local, sino que también permite una mejor formulación de las preguntas que el modelo debe contestar, lo cual hace más eficiente y útil el desarrollo estudio.

Las campañas de Aforo resultan fundamentales en la generación de conocimiento sobre el comportamiento de los cursos de agua, particularmente en las bifurcaciones y confluencias. Dicha información se contrastará con los resultados de las simulaciones numéricas, pudiendo alcanzar un mayor grado de certidumbre sobre el comportamiento del Delta.

**Agradecimiento.** Darío Ceballos, Demián Olemberg, Sebastián Fernández, Analía Torres INTA; Diego Piñón, IGN; Bernardo Hauri y Matías Danna, ARAUCO; Alberto Esteban; Cooperativa Forestal; Matías Gaute, Secretaria de Agricultura; Juan Giacosa, Juan Bianchi, Leandro Giordano, Pablo Spalletti, Lucas Storto, Mariano Re, Pablo García, Ángel Menéndez, Julio De Lío, Valeria Rodríguez Salemi, Carlos Gómez, Luis Higa - INA; Rafael Grimson, Natalia Morandeira, Maira Gayol, Patricia Kandus, Priscilla Minotti 3iA-UNSAM; Martín Civeira, SSPyVN, Raúl Cáceres, Serman.; Mariana Guala, NA-SA;

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Borus J., Sabarots Gerbec M. (2015)** Caracterización de Niveles Mínimos en la Vía Navegable del Río Paraná. *Congreso nacional del Agua 2015*, Paraná, Entre Ríos, Argentina.

**Latessa, P. G., (2011)** “Modelo Hidrodinámico del río Paraná para pronóstico hidrológico. Evaluación del performance y una propuesta de redefinición geométrica”. Instituto Nacional del Agua – Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires.

**Re M., Sabarots Gerbec M., Storto L.** (2015) *Séptimo Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos*, Montevideo, Uruguay.

**Sabarots Gerbec, M. (2014).** Estudio de la dinámica superficial de la red de canales del Delta Medio del río Paraná. IFRH 2014, 2do. *Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos*. Instituto Nacional del Agua, Ezeiza, Argentina.

**Sabarots Gerbec M., Borús J.,** (2016) Caracterización Hidrodinámica en aguas bajas para la vía Navegable del río Paraná. *IX CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERIA PORTUARIA*, Ciudad de Buenos Aires, Argentina,

**Zamanillo, E., Tito, M.J., Pérez, M.** (2013). Análisis de frecuencia de niveles máximos en el Delta del río Paraná. *XXIV Congreso Nacional del Agua*, San Juan, Argentina, octubre.