

Delta del Paraná: del territorio hacia la modelación hidrodinámica.

Mayra Morale¹, Martin Sabarots Gerbec¹, Mariano Re¹, Nicolás Ortiz¹, Julieta Bernal¹

¹ Instituto Nacional del Agua, Laboratorio de Hidráulica, Programa de Hidráulica Computacional

E-mail: morale.mayra@gmail.com

RESUMEN:

El presente trabajo describe la metodología de trabajo llevada adelante en forma conjunta por instituciones y diversos actores en el territorio del Delta de Paraná.

El objetivo último es obtener datos representativos que permitan calibrar un modelo numérico que posibilite la profunda comprensión del sistema en estudio.

Los objetivos intermedios comprenden:

- El fortalecimiento de los vínculos entre las instituciones involucradas en el proyecto y los actores en territorio.
- La generación de herramientas simples desarrolladas a partir del procesamiento de los datos recolectados.
- La divulgación de las actividades y los productos mencionados.

Hasta el momento fueron desarrolladas distintas actividades: campañas de instalación de dispositivos, relevamiento topográfico y aforos y el post-procesamiento de los datos llevándolos todos a un mismo sistema de referencia. Además se ha realizado la calibración de un modelo numérico preexistente.

La colaboración de los sectores territoriales y técnicos es la herramienta fundamental que posibilita las realizar las actividades. El trabajo tiene como principal enfoque expresar la importancia del trabajo conjunto entre las instituciones y los habitantes, productores y diferentes actores en territorio.

INTRODUCCIÓN

El Delta del río Paraná comprende un área aproximada de 1500000 Ha. (**Figura 1**) en la cual existen un gran número de cursos naturales y canales artificiales que, conectados, conforman una compleja red hídrica. La misma presenta bifurcaciones y confluencias que unen cauces de longitudes, formas y trayectorias variadas (Hergenreder, 2017). En el territorio insular se desarrolla una importante actividad agrícola-ganadera-forestal (Sabarots, 2017) que colabora con la economía local. Desde el punto de vista ambiental, el Delta contiene un reducto de humedales únicos que resultan determinantes en distintos procesos hidrológicos, biológicos y geomorfológicos.

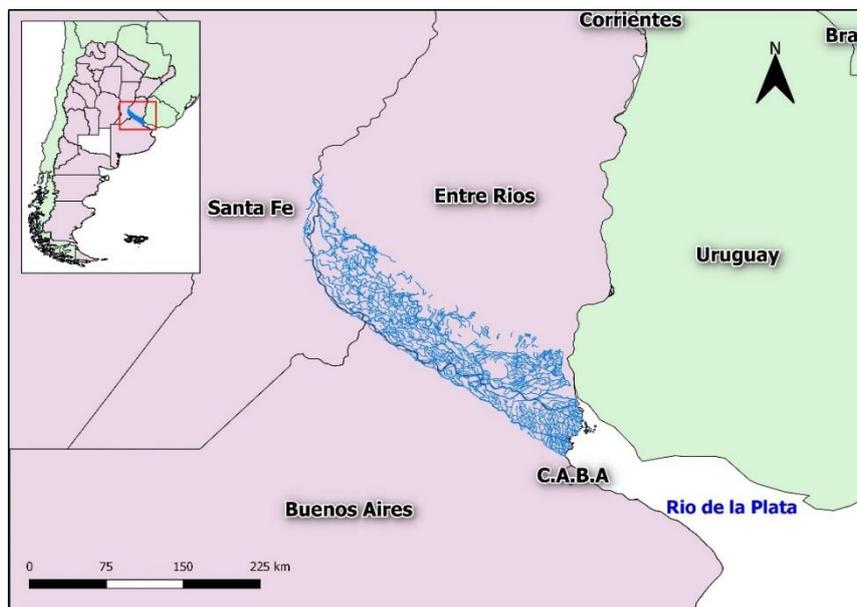


Figura 1.- Localización de zona de estudio

Con estas características, tanto las inundaciones por crecidas o sudestadas como las bajantes extremas, son críticas no solo para la población local y los ecosistemas comprendidos en el Delta, sino también para todos los actores vinculados a sus circuitos comerciales y productivos (Sabarots y Re, 2018).

Ante el desafío de comprender la dinámica hídrica del sistema Delta del Paraná y la constante demanda de información de mayor confiabilidad técnica, se plantea el objetivo de generarla.

Conocer cada una de las variables (perfiles topobatimétricos, niveles de agua en los diferentes cursos, velocidades de corriente y caudales) condiciona las actividades en la zona y colabora en la toma de decisiones de los actores en territorio. Una vez generados este tipo de datos resulta posible vincularlos a un único sistema de referencia, acción que organiza los datos de manera que permitan calibrar y validar los modelos numéricos hidrodinámicos a implementar.

El presente trabajo desarrolla tanto las tareas de generación de datos como la relación con el territorio, isleños, organizaciones e instituciones describiendo la metodología y productos obtenidos a partir de campañas durante los años 2016, 2017 y 2018 realizadas por los equipos del Instituto Nacional del Agua (INA), del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y los Referentes Locales (isleños comprometidos con el proyecto), conjunción que resulta fundamental para el desarrollo de las actividades.

MARCO INSTITUCIONAL Y MOTIVACIÓN

En el marco del Proyecto DELTA PARANA que surge del Convenio de Cooperación Técnica entre el INA y el INTA (**Figura 2**); y del convenio SOP – SSRH – INA – ArgenINTA; se plantearon las campañas de instrumentación, relevamientos topobatimétricos y aforos, a fin de obtener datos representativos de las diversas zonas del delta.



Figura 2.- Reunión para la firma de convenio INA-INTA en la sede del INTA en Chile 460 CABA el 02-08-18.

Es motivación fundamental del presente trabajo expresar la riqueza del trabajo conjunto y colaboración de los sectores territoriales y técnicos para la construcción simbiótica que permita comprender las necesidades locales y vincularlas con el trabajo de modelación numérica para conseguir datos útiles para la calibración y obtener con esos datos productos útiles como respuesta a las necesidades locales.

OBTENCIÓN DE DATOS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

Las campañas se han realizado en diversas zonas del Delta (**Figura 3**), pero por accesibilidad geográfica y facilidades logísticas se concentraron en el Bajo Delta. En primer lugar se identificaron zonas en donde se pudieran obtener datos necesarios para la modelación, en relación a ello se localizó un posible referente local en dicha área atendiendo a los vínculos previos existentes entre Los técnicos de la Estación Experimental Agropecuaria Delta, de la Agencia De Extensión Rural Delta Frontal INTA y los isleños, pobladores o productores, oportunamente se les contactó, explicó el trabajo en cuestión y se les invitó a formar parte del proyecto.

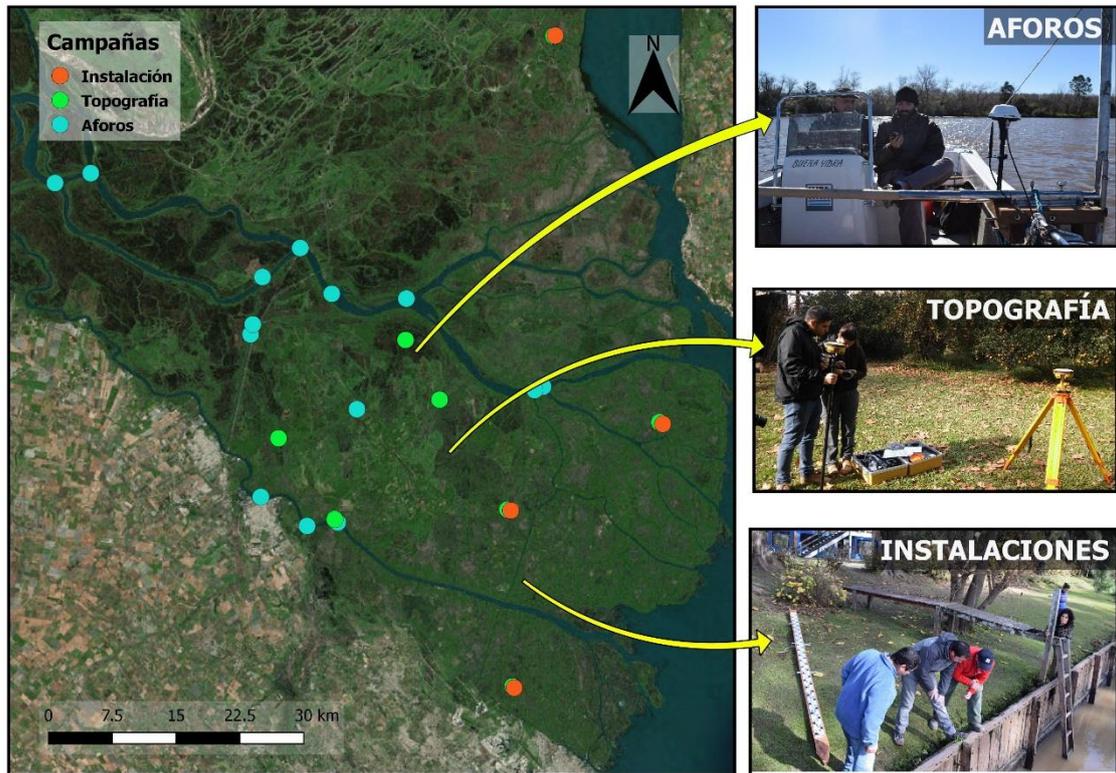


Figura 3.- Localización de campañas

La definición del punto exacto de cada instalación o relevamiento fue discutida con los referentes locales, el intercambio de opiniones fue fundamental para la toma de decisiones en esta instancia. En todos los casos la asistencia de los referentes locales es fundamental a la hora ejecutar la campaña y por ello se hizo una visita previa al lugar para explicar en detalle que procedimientos se pretenden llevar adelante y generar un acercamiento mayor con los referentes.



Figura 4.- Equipos del INA e INTA durante la campaña en la EEA INTA Delta el 04-09-18

La disponibilidad de vehículos de traslado (**Figura 4**), herramientas de trabajo y en algunos casos lugar para pernoctar fue articulada entre INA, el INTA y los referentes locales.

Campañas de instrumentación: instalación de dispositivos de medición de niveles de agua.

La primera acción de cada campaña es la determinación del lugar para la instalación que cumplir con los siguientes requisitos:

- Contar con señal de telefonía celular (preferentemente)
- Poseer electricidad en una zona cercana a la disposición final de los equipos
- Presencia de una estructura que permita colocar los equipos (muelle por ejemplo)
- Contar con la presencia permanente o al menos diaria de un referente local.

El rol de los referentes locales es de suma importancia, ya que serán los encargados de verificar el estado de los equipos y mantener el contacto con los técnicos en caso de inconvenientes.

Para la medición de niveles se instalaron sensores y escalas. Cada instalación tiene sus particularidades en función de la zona, es por ello que es necesario diseñar y materializar para cada campaña nuevos elementos que posibiliten la instalación de los equipos.

Las escalas de acrílico llevan impresos los logos de INTA e INA en la parte superior (**Figura 5**). Para su instalación, fue necesario utilizar una base de madera para fijar los tramos que forman la escala y posteriormente vincular dicha base a columnas de muelles o tablestacados (**Figura 6**).

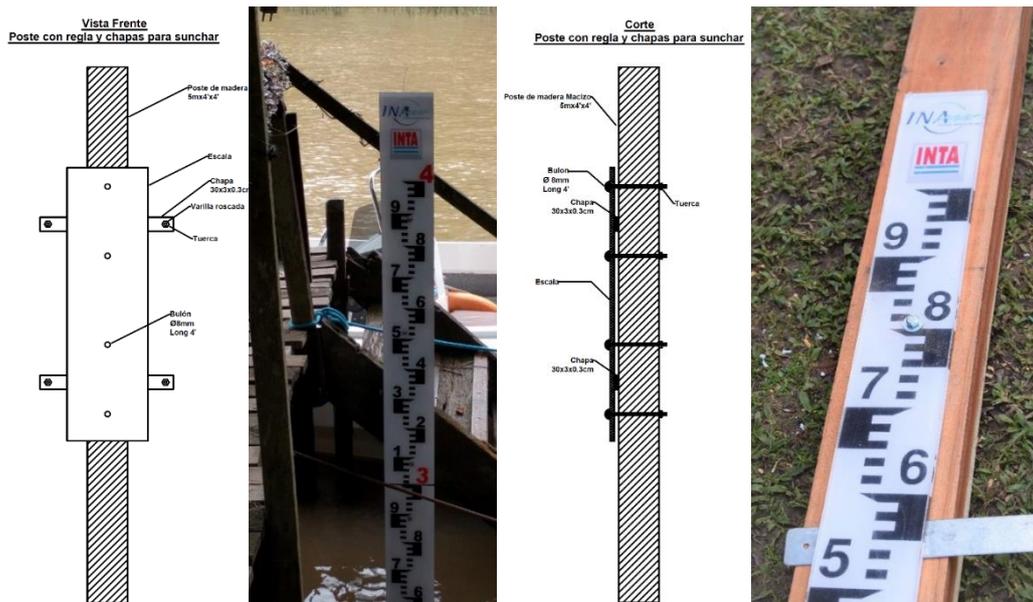


Figura 5.- Esquemas y escalas instaladas



Figura 6.- Instalaciones de escalas en Canal Borches, Canal Seoane y Río Carapachay.

Los dispositivos medidores de nivel de la marca FdX (<http://www.fdx-ingenieria.com.ar/>) (Figura 7 y Figura 10) constan de un *fieldlogger* y un sensor. El *fieldlogger* procesa la toma de datos y puede almacenar datos hasta su descarga de forma manual o enviarlos por red de telefonía móvil (contando con una antena para esto).

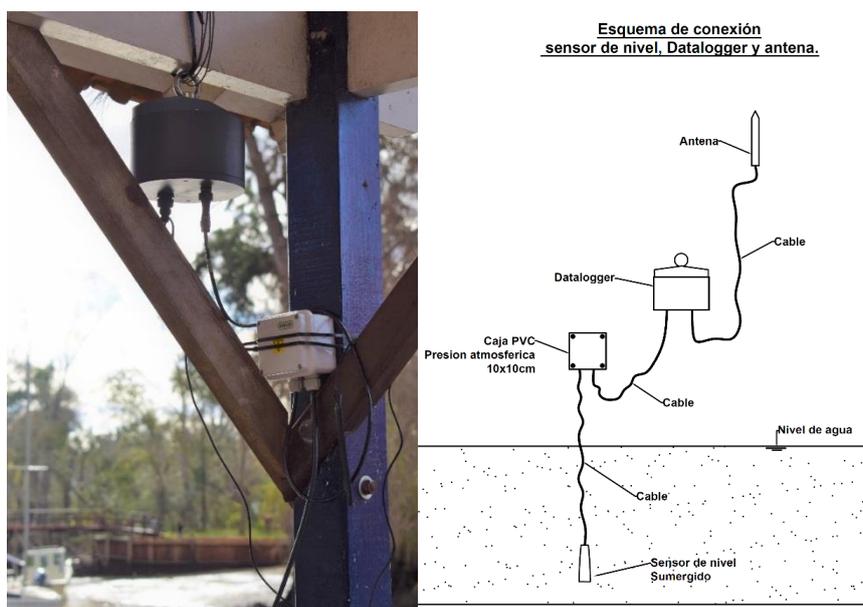


Figura 7.-Esquema y sensor de nivel instalado.

Para que estos datos resulten útiles para la modelación fue necesaria la vinculación los niveles hidrométricos al sistema de referenciación geográfica de IGN. Finalmente los mismos se grafican (Figura 8) y se dejan a disposición libre en la página web del INA (Figura 9).

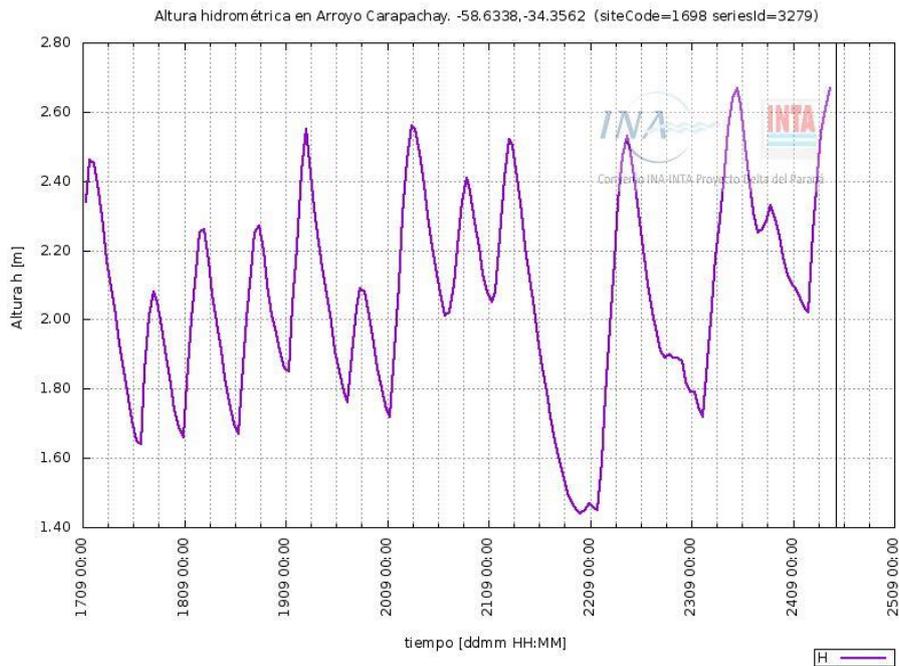


Figura 8.- Grafico de niveles referenciados del Arroyo Carapachay [m IGN]



Figura 9.-Captura de página Web INA proyecto DELTA (www.ina.gob.ar/delta)

Estas instalaciones permiten un doble control de la calidad de los datos obtenidos, las lecturas de las escalas permiten ser comparadas con las lecturas de los sensores, y al estar vinculados ambos al sistema de referencia vertical de IGN, se pueden obtener datos ciertos de niveles de agua, que son esenciales para la calibración de los modelos numéricos. Como segundo aporte, generan un valor agregado en territorio reemplazando referencias locales como escalones o marcas por una escala hidrométrica posibilitando la cuantificación numérica de los niveles de agua. Finalmente los dispositivos visibles para la comunidad fortalecen los vínculos generados y posibilitan la generación de nuevos.

Los equipos de trabajo estuvieron compuestos por técnicos del INA e INTA, por referentes locales y colaboradores ocasionales que se encontraban en el lugar de la instalación (**Figura 11**).



Figura 10.- Instalaciones de Sensores en Río Carapachay y Arroyo Martínez



Figura 11.- Instalaciones finalizadas y equipos de trabajo en Río Carapachay y Canal Seoane

Campañas de Relevamientos Topográficos: toma de datos en terreno de posicionamiento

Para la toma de datos de posicionamiento el equipo utilizado fue un GPS Diferencial de marca Topcon (**Figura 12**) que cuenta con dos receptores: uno que se define como “Base” y se estaciona en un punto de coordenadas conocidas para trabajar de forma autónoma tomando datos de posicionamiento utilizando la red de satélites segundo a segundo, y el otro se define como “Móvil” o “ROVER”, utilizado como unidad en movimiento posibilitando el relevamiento relativo a la “Base” dando soluciones instantáneas en las tres dimensiones (Huerta E.,2005). La conexión entre ambos equipos por radio frecuencia, permite la corrección en tiempo real de los puntos obtenidos, con un error menor a 3 cm en vertical y horizontal (este sistema se denomina *Real Time Kinematic*, RTK).

Al iniciar el proceso se suponen coordenadas conocidas de la estación “Base”, ciertamente, estas coordenadas no lo son (el dispositivo genera una posición aproximada en pocos segundos), es por ello que se post procesan los datos obtenidos para corregir esas coordenadas. Para ello se utilizan datos de la estaciones “Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo” (RAMSAC) (<http://www.ign.gob.ar/>). En la mayoría de las campañas se utilizó la estación IGM1 ubicada en las instalaciones del (IGN), en Buenos Aires. Mediante este proceso se obtienen las coordenadas precisas del punto fijo con un error menos a 3 cm. Esto permite el ajuste total de los puntos relevados.

Para estas actividades se utilizó el modelo GEOIDE_Ar16 (Modelo de geoide argentino) del IGN y se trabajó con la proyección en Faja 5 del sistema POSGAR 07 (Posiciones Geocéntricas Argentinas 2007) como marco de Referencia Geodésico Nacional.

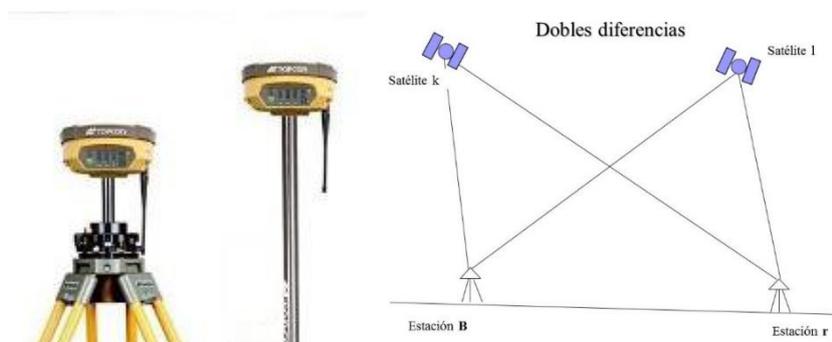


Figura 12.-Esquema de satélites y GPS diferencial.

Al llegar a la zona de campaña se eligió el lugar para colocar la estación “Base”, libre de obstáculos (árboles o arbustos por ejemplo), lejos de espejos de agua importante y elevada. Una vez instalada se procede al relevamiento RTK por los puntos de interés previamente identificados, para ello desde la controladora se debe definir la configuración y se ejecuta la toma de puntos (**Figura 13**).



Figura 13.-Relevamiento con GPS diferencial.

En algunos casos fue necesaria la elaboración un mojón para materializar un punto fijo. Esto se realizó con una mezcla de cemento, agua y arena y se le coloca un bulón en el centro (Figura 14).



Figura 14.- Elaboración de mojón para ubicar el Punto Fijo

Una vez procesados los datos obtenidos en territorio se consiguieron las coordenadas geográficas y cotas IGN de cada punto, datos que son visualizados en un Sistema de Información Geográfica (Figura 14).



Figura 15.-Puntos Relevados con sus Cotas IGN post procesados y visualizados en GIS

El relevamiento tiene como función específica, obtener la cota de los cerros de escalas (Figura 16) y puntos del terreno que permitan mejorar el modelo digital de terreno (MDE) (Sabarots et al, 2017) existente que se utiliza

como insumo del modelo numérico. Además la información relevada resulta de interés para los locales ya que pueden identificar la cota sus terrenos, diques, ataja repuntes o endicamientos cercanos.

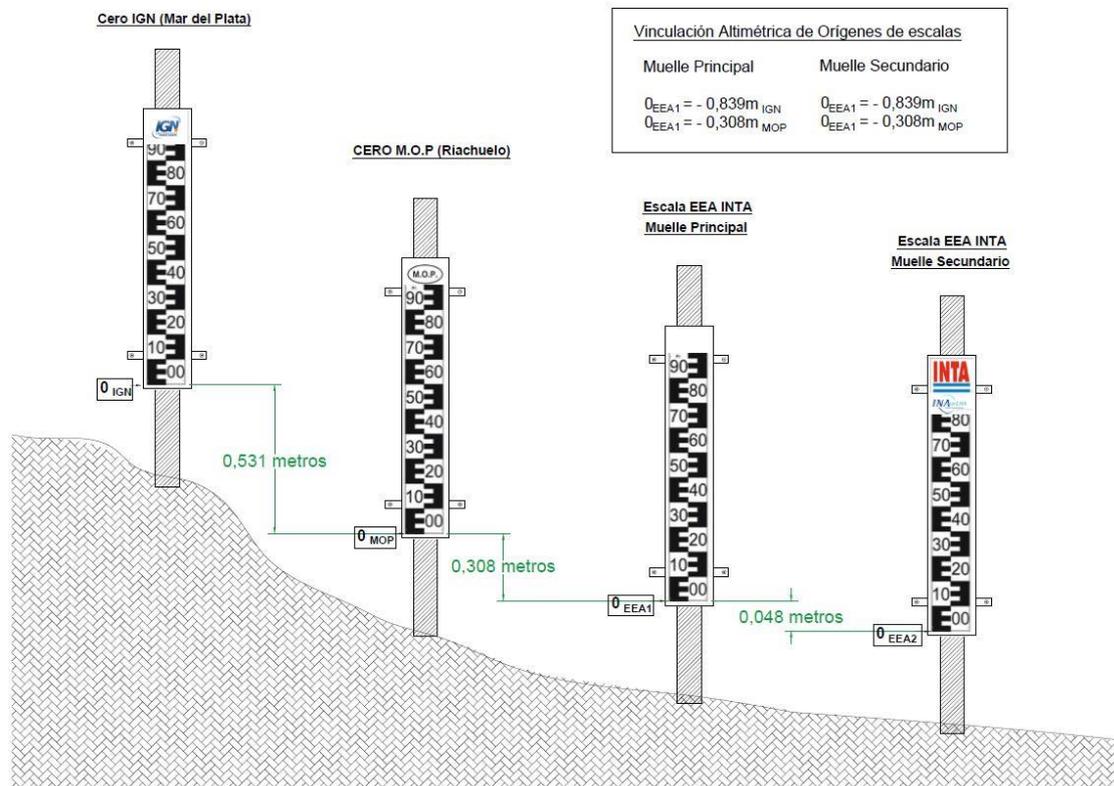


Figura 16.- Esquema de escalas y vinculación entre ellas

Campañas de Aforos: relevamiento de datos de caudales, velocidades y batimetrías.

Los aforos líquidos fueron realizados utilizando un Perfilador de Corriente Acústico *Doppler* (ADCP) marca *Sontek* modelo *M9* (Figura 17). El dispositivo se basa en el efecto *Doppler* acústico para medir las componentes de la velocidad del agua en tres dimensiones en diferentes capas de la columna de agua a lo largo de un perfil. Los registros efectuados con el equipo ADCP se posicionan en coordenadas geográficas mediante un GPS (*Sontek Differential GPS*), que permite estimar el caudal del curso de agua mediante la integración de las velocidades a lo largo de trayectorias transversales a la corriente.

Las mediciones con ADCP se realizaron con el equipo vinculado a una lancha de dos maneras en las diferentes campañas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**): montado en un dispositivo denominado *Hydroboard* que permite la flotabilidad y el desplazamiento del mismo, vinculado a la embarcación con una soga (desplazándose de forma paralela a la embarcación); o con un sistema de amarre fijo a la embarcación (dispositivo de madera con una mordaza y cuerdas) que permite vincular el equipo ADCP sobre la borda.



Figura 17.- ADCP

En 7 de 8 relevamientos se contó con embarcaciones provistas por INTA Delta. Las mediciones se han realizado según lo recomendado: se hizo circular el instrumento sobre la superficie a través de una sección transversal a una velocidad menor o igual a la velocidad media del agua, y se realizaron un número par de transectas en direcciones recíprocas considerando un tiempo mínimo de 15 minutos. Mientras el ADCP está en movimiento, registra datos de profundidad, velocidad de la embarcación, y posición, entre otros, permitiendo la estimación del caudal (**Figura 18**).



Figura 18.- Aforos con ADCP

Una vez obtenidos los datos de batimetría respecto a la superficie se realizaron tareas de vinculación de esos puntos al Sistema Geográfico Nacional. Para ello es necesario conocer el nivel de agua al momento del aforo en la zona en cota IGN (referencia al cero IGN). Se consultaron los mareógrafos cercanos con cotas conocidas o los resultados de los propios dispositivos instalados en estas campañas o dispositivos pertenecientes a otros organismos. En todos los casos, los ceros de escala debieron ser conocidos por haberlos relevados previamente en estas campañas, o bien medir el nivel con el GPS diferencial en alguna costa. Los datos obtenidos son visualizados y graficados con diferentes softwares de manera de tener datos simples de comprender gráficamente (**Figura 19**).

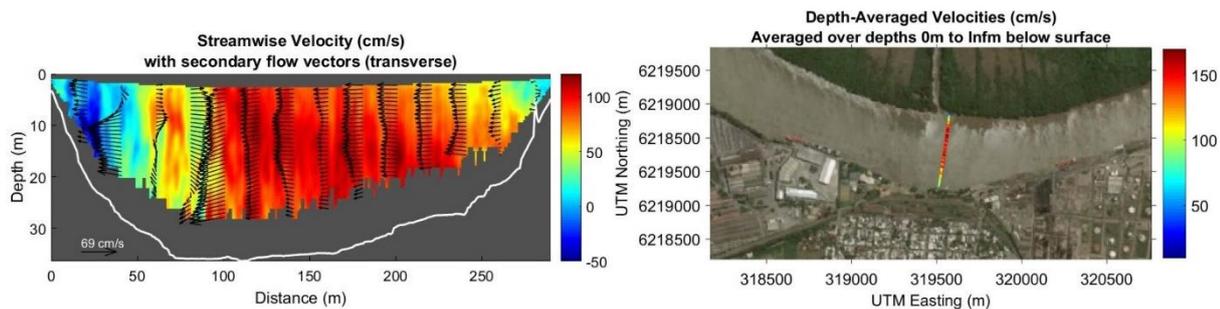


Figura 19.-Batimetría y velocidades obtenidas del software *Velocity Mapping Toolbox*.

Los datos de batimetrías permiten mejorar el MDT y los de caudales son de gran aporte para la calibración/validación de la modelación y el análisis de repartición de caudales en bifurcaciones y confluencias.

Modelación Numérica.

El modelo numérico realizado resuelve la hidrodinámica unidimensional de los principales ríos y canales del Delta del Paraná. El software utilizado fue *Hydrologic Engineering Centers - River Analysis System (HEC-RAS)* (Re et al., 2015).

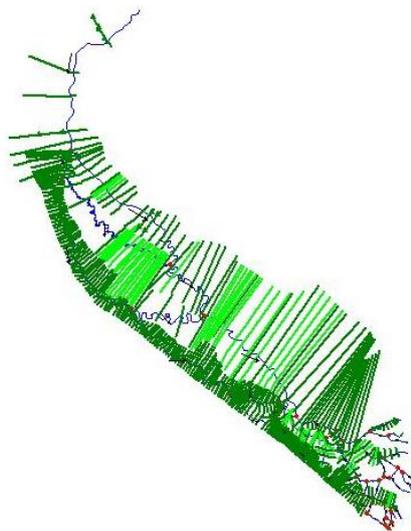


Figura 20.- Geometría de modelación en HEC RAS.

Sobre la base del modelo hidrodinámico se simuló del período 1994-2013, con el que se realizó una caracterización estadística descriptiva de niveles (Re et al., 2015) La **Figura 20** presenta los valores medios y los desvíos estándar obtenidos en todo el dominio.

Otro período simulado fue el 1997 - 2013, obteniendo resultados a paso horario en puntos de interés, particularmente en la repartición de caudales de algunas bifurcaciones (Sabarots et al., 2018).Las particiones

obtenidas se pusieron en función de dos variables influyentes en el sistema: el caudal ingresando en la bifurcación y el nivel de la superficie libre en la desembocadura en el Río de la Plata.

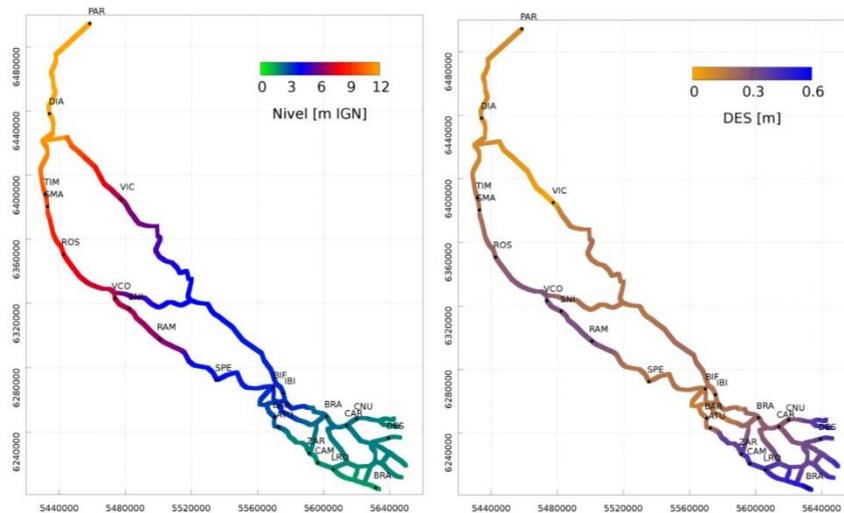


Figura 21.- Niveles medios y desvío estándar en la simulación del periodo 1994-2013

El planteo de obtención de datos en territorio se basa en la mejora de la cantidad y calidad de los datos utilizados para la calibración y validación del modelo. Con ese objetivo, una vez recalibrado se volverán a simular los escenarios planteados anteriormente esperando resultados superadores.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El desafío de la calibración y la validación de modelos hidrodinámicos en un sistema tan complejo como el Delta del Paraná generan la necesidad de nueva información ordenada y en un mismo marco de referencia. Conocer esto, permite tener horizontes claros a la hora de la recolección de datos y el procesamiento de los mismos. En este sentido, en búsquedas de datos confiables surgió un camino de vinculación que generó nuevos cuestionamientos respecto a las dinámicas del Delta y nuevas herramientas para la obtención de información provenientes de saberes locales.

La construcción de una fuerte vinculación entre el trabajo técnico y el territorio, es fundamental tanto para el desarrollo logístico de las actividades como para asegurar la utilidad de los productos técnicos realizados a través de la modelación. El planteo del fortalecimiento de vínculos entre instituciones (particularmente INA-INTA) y con las poblaciones y organizaciones en territorio permite generar un circuito completo de generación, proceso y devolución al territorio de la información (**Figura 22**), agilizando la de obtención de datos y permitiendo adaptar los productos del Proyecto.

Tal como se observa en la **Figura 22** los datos de aforos, sensores de nivel, relevamientos topográficos y otra información proveniente de los saberes locales son procesados e incorporados a la modelación. Así, aquella

información que es posible obtener gracias a la colaboración territorial es procesada y vuelve al territorio en forma de productos que mejoren la calidad de vida de las personas y el faciliten el trabajo de organizaciones hasta tanto el modelo este operativo.

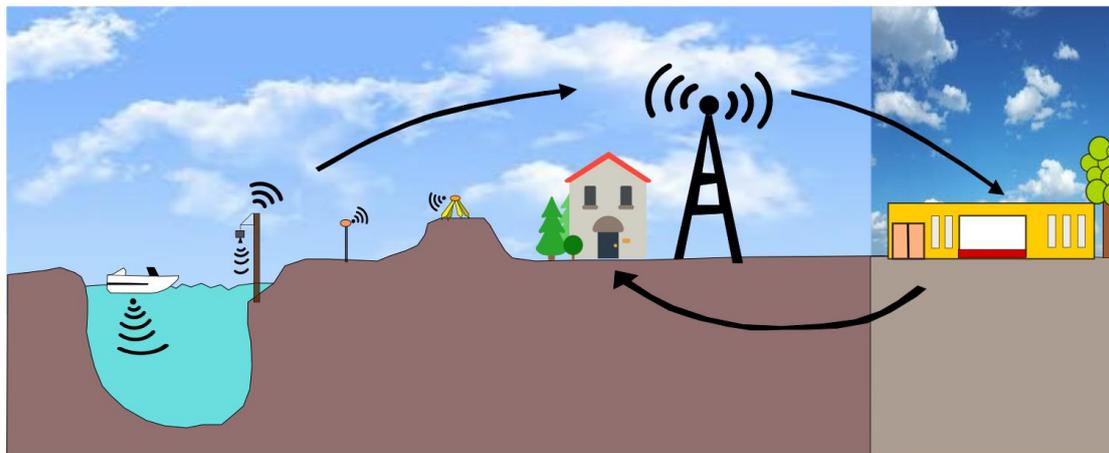


Figura 22.- Esquema de circuito completo de toma de datos en terreno, procesamiento y puesta a disposición de productos generados al territorio.

Hasta el momento, con los resultados obtenidos de estas campañas, procesados y ordenados en un mismo marco de referencia, se ha continuado con las tareas de calibración y validación de un modelo hidrodinámico unidimensional, se ha mejorado el MDT y se han comenzado a analizar los datos registrados por los sensores de niveles comparándolos con otros mareógrafos. Por otro lado, se han realizado productos intermedios como mapas, esquemas y gráficos útiles no solo para la visualización de datos sino también para la comprensión de los mismos en territorio. Toda la información y los productos se encuentran publicados y son de acceso libre.

REFERENCIAS

- Hergenreder L., Irigoyen, M., Spalletti, P., Sabarots Guerbec, M. 2017. Reconocimiento de Patrones 3D en el Delta del Río Paraná. VIII Simposio Regional sobre Hidráulica de RIOS 2017, Cordoba, Argentina.
- Huerta E., 2005. GPS Posicionamiento Satelital, UNR Editora, Rosario, Argentina.
- Re, M., Sabarots Gerbec, M., Storto L., Estadística de Niveles en el Delta del Río Paraná Mediante Modelación Hidrodinámica. VII Simposio Regional sobre Hidráulica de RIOS 2015, Montevideo, Uruguay.
- Sabarots Gerbec, M., Borús, J.A., Irigoyen, M., Gonzalez, A., Álvarez, J. 2017. Abordaje Interinstitucional en el estudio del Delta de Río Paraná. XXVI Congreso Nacional del Agua.
- Sabarots Gerbec, M., Re M., Storto, L., Morale, M. 2018, Análisis de Repartición de Caudales en Bifurcaciones del Delta del Río Paraná. XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Buenos Aires, Argentina.
- Sabarots Gerbec, M., Re, M., 2018, Campañas de aforos líquidos Delta del río Paraná 2016-2017, informe LHA-03-373-18, Instituto Nacional del Agua (INA), Ezeiza, Argentina.
- Sabarots Gerbec, M., Re, M., Storto, L., 2017, Modelo Digital de Elevación del Delta del río Paraná, informe LHA-01-373-17, Instituto Nacional del Agua (INA), Ezeiza, Argentina.