

**XXIV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
PUNTA DEL ESTE, URUGUAY, NOVIEMBRE 2010**

**ESTUDIO DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL RÍO DE LA
PLATA: CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS**

Moreira, D.¹, de los Campos, T.², Capeluto Ware, A.², Guerrero, R.³, Repecaud, M.⁴, Le Bihan, C.⁴, Balestrini, C.⁵, Firpo, A.⁵ y Fossati M.⁶

(1) Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (UBA-CONICET-Argentina)

(2) Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada (SOHMA- Uruguay)

(3) Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP-Argentina)

(4) Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER-Francia)

(5) Servicio de Hidrografía Naval (SHN-Argentina)

(6) Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA-Uruguay)

moreira@cima.fcen.uba.ar, taba@fcien.edu.uy, abicap@gmail.com, raul.guerrero@inidep.edu.ar,
Michel.Repecaud@ifremer.fr, lebihancaroline@yahoo.fr, cfbales@retina.com, oceano@hidro.gov.ar,
mfossati@fing.edu.uy

RESUMEN:

En el marco del proyecto “Protección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Prevención y Control de la Contaminación y Restauración de Hábitats” (PNUD/GEF/RLA/99/G31), se fundearon diferentes equipos de medición en dos estaciones fijas y una boya oceánica, a fin de recabar información hidrodinámica y sedimentológica del Río de la Plata. Las estaciones fijas están ubicadas en Pilote Norden y Torre Oyarvide, mientras que la boya oceánica se encuentra en la zona del denominado frente de salinidad. Durante las tres primeras campañas (noviembre de 2009, marzo y junio de 2010) se tomaron muestras de agua y sedimentos superficiales de fondo, y se registraron perfiles de temperatura, salinidad, turbidez, y fluorescencia, en 26 puntos distribuidos en el Río de la Plata. Los equipos de medición fueron calibrados en el Servicio de Hidrografía Naval (Argentina) antes de su instalación, para volver a calibrarse antes del inicio de cada campaña. En este trabajo se presenta la diagramación, desarrollo y resultados obtenidos a partir de los datos adquiridos en las campañas realizadas.

ABSTRACT:

Within the framework of the project: “Protección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Prevención y Control de la Contaminación y Restauración de Hábitats” (PNUD/GEF/RLA/99/G31), different measuring devices were anchored in two fixed stations and an oceanographic buoy with the purpose of obtain information about hydrodynamics and sedimentology of the Río de la Plata. The two fixed stations are located in Pilote Norden and Torre Oyarvide, while the oceanic buoy is located in the so-called salinity front. During the three first cruises (November of 2009, March and June of 2010) temperature, salinity, turbidity and fluorescence profiles were recorded in 26 points of the estuary, in which superficial bottom sediment and water samples were also obtained. The measuring devices were calibrated in the Naval Hydrographic Service before their installation, to be recalibrated before the start of each cruise. In this paper we present the layout, development and results obtained from the data acquired in the cruises.

PALABRAS CLAVES:

Río de la Plata, sedimentos, campañas oceanográficas.

INTRODUCCIÓN

En el marco del proyecto “Protección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Prevención y Control de la Contaminación y Restauración de Hábitats” (PNUD/GEF/RLA/99/G31) se está desarrollando un proyecto binacional que tiene por finalidad la instrumentación de un modelo hidrodinámico y sedimentológico para el Río de la Plata, que permita mejorar los conocimientos sobre los aportes sedimentarios en su cauce y la información necesaria para optimizar la gestión en la zona de estudio.

El grupo de trabajo está conformado por personal científico y técnico del Servicio de Hidrografía Naval - SHN (Argentina), Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera - CIMA (Argentina); Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero - INIDEP (Argentina), Instituto Nacional del Agua - INA (Argentina), Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada - SOHMA (Uruguay) y el Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental de la Universidad de la Republica (Uruguay). Además, cuenta con el apoyo del Instituto Francés de Investigación para la Explotación del Mar - IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer).

El proyecto involucra dos grandes componentes, la realización de campañas de campo para medir las principales variables vinculadas con la hidrosedimentología del Río de la Plata y el trabajo en el modelo numérico MARS (Model for Applications at Regional Scale) desarrollado por IFREMER. En la primera campaña se instalaron equipos en dos estaciones fijas (Pilote Norden y Torre Oyarvide) y una boya oceánica en la boca del Río de la Plata. Al mismo tiempo, se realizaron 26 muestreos en estaciones en distintos puntos del estuario. En las campañas siguientes, se efectúa el mantenimiento de los equipos y se repite el muestreo en las mismas estaciones. En total, están previstas seis campañas, de las cuales tres ya fueron realizadas. De esta forma, es posible obtener datos a lo largo de todo el año y en las distintas estaciones.

Los datos obtenidos *in situ* y el modelado numérico, en su conjunto, permitirán entre otros objetivos, estudiar el comportamiento de los sedimentos finos y su relación con los organismos vivos, particularmente peces que utilizan el estuario como ambiente de reproducción, cría y alimentación (Macchi et al., 1996; Acha et al., 1999; Acha y Macchi, 2000; Jaureguizar et al., 2003; Militelli y Macchi, 2004; Jaureguizar et al., 2008). Además, facilitará el abordaje de las problemáticas vinculadas con el dragado (Cardini et al., 2002), la contaminación (Colombo et al., 2005 y 2007) y la degradación de las costas y humedales. Es de suma importancia comprender el comportamiento de las partículas en suspensión y sus variaciones espacio-temporales, para conocer los procesos que afectan las áreas costeras.

Los datos obtenidos, también serán utilizados para calibrar y ajustar los resultados del modelo hidrosedimentológico con los valores medidos por los equipos ubicados en la boya y las estaciones fijas. Por otro lado, estos datos se analizarán por separado para entender la variación estacional de las variables medidas (turbidez, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, fluorescencia) y su relación con el viento, la corriente y la marea (Simionato et.al., 2004, 2006, 2007 y 2008; Meccia, 2008 y Meccia et al., 2009).

La información recolectada es de gran utilidad para entender la dinámica de sedimentos en la zona, ya que no se poseen registros de períodos de tiempo considerables que permitan un monitoreo preciso de este conjunto de variables en el Río de la Plata. También podrá ser empleada, en el futuro, por investigadores y profesionales tanto de la oceanografía y la biología pesquera, como de otras disciplinas. Otra aplicación de interés del modelo MARS reside en la búsqueda y rescate de personas en el mar, efectuada por las instituciones competentes.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es presentar los equipos de medición adquiridos para este proyecto, su calibración, su instalación y su mantenimiento.

DIAGRAMACIÓN DE LAS CAMPAÑAS

Para el correcto estudio de la hidrodinámica de los sedimentos finos del Río de la Plata, como también de las distintas variables atmosféricas y oceánicas, se determinó que el mejor modo de representar la variabilidad espacial y temporal se obtendría mediante dos tipos de mediciones. Por un lado, a través de la instalación de equipos fijos en tres puntos geográficos específicos, y por otro, la realización de seis campañas a lo largo del año en estaciones móviles para representar la variabilidad estacional.

Los puntos donde se instalaron los equipos fijos (Figura 1, panel izquierdo) son: Pilote Norden ($34,62778^{\circ}$ S y $57,9196^{\circ}$ W) y Torre Oyarvide ($35,1^{\circ}$ S y $57,13^{\circ}$ W) ubicados en zonas donde es posible garantizar la realización de maniobras de instalación y mantenimiento. La boya oceanográfica (Figura 1, panel derecho) fue fondeada en la boca del estuario ($35,2^{\circ}$ S y $56,4^{\circ}$ W) en la zona del frente de turbidez. Durante la instalación y el mantenimiento de los equipos fijos se realizan muestreos en los 26 puntos del río anteriormente mencionados (Figura 1, panel izquierdo), que representan espacialmente la zona de mayor dinámica sedimentológica del estuario.

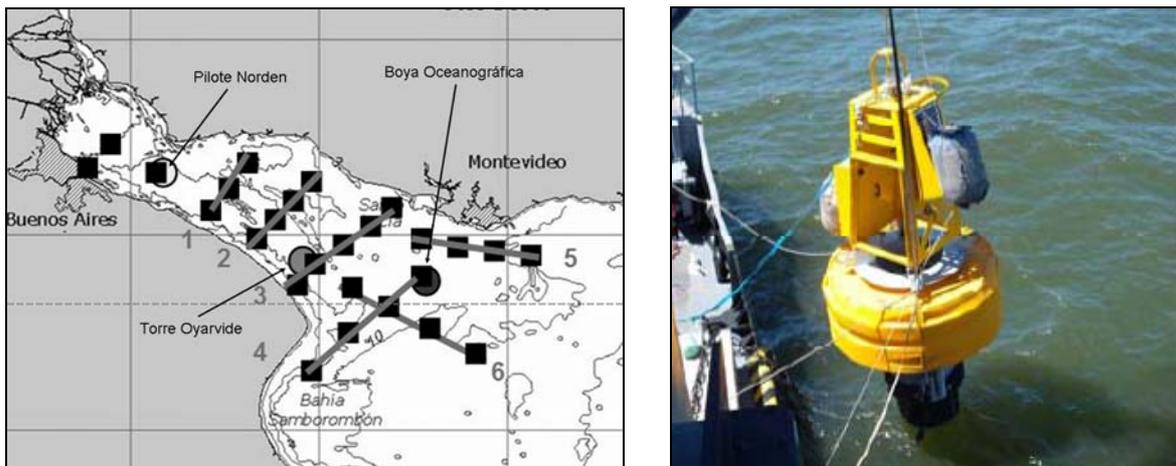


Figura 1.- Ubicación de las estaciones fijas (panel izquierdo) e instalación de la Boya (panel derecho).

La realización de seis campañas con una frecuencia de 3 meses permite obtener una correcta representación temporal de estas variables.

La primera campaña se realizó del 23 al 28 de noviembre de 2009, con el objetivo principal de la instalación de la boya oceanográfica y de los equipos de medición colocados en Pilote Norden y Torre Oyarvide (Figura 2, panel izquierdo). La maniobra se realizó a bordo del buque ARA Ciudad de Rosario y la derrota realizada se observa en la Figura 2, panel derecho.

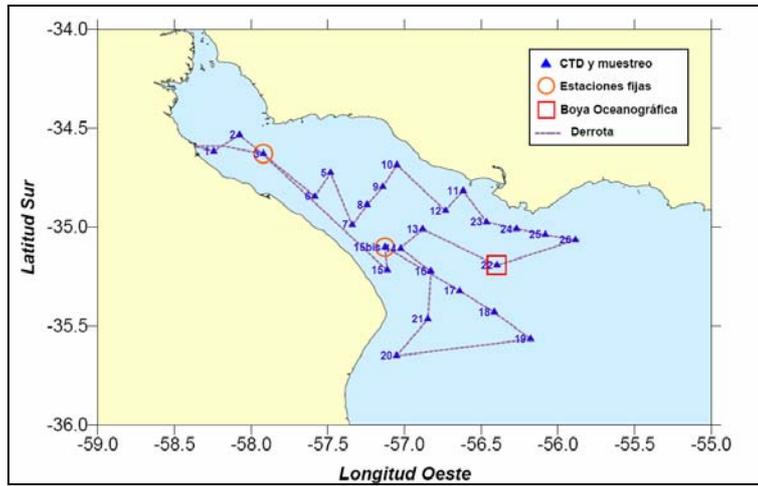


Figura 2.- Torre Oyarvide (panel izquierdo) y derrota de la primera campaña (panel derecho).

La segunda campaña fue realizada en dos etapas. La primera del 17 al 23 de marzo en donde se reemplazaron los equipos instalados en la boya y en Torre Oyarvide, y se realizaron las 25 estaciones CTD (Figura 3 panel derecho) y la segunda etapa, el 8 abril, donde se reemplazó el equipo de Pilote Norden (Figura 3 panel izquierdo) a bordo de la corbeta ARA Cormorán.

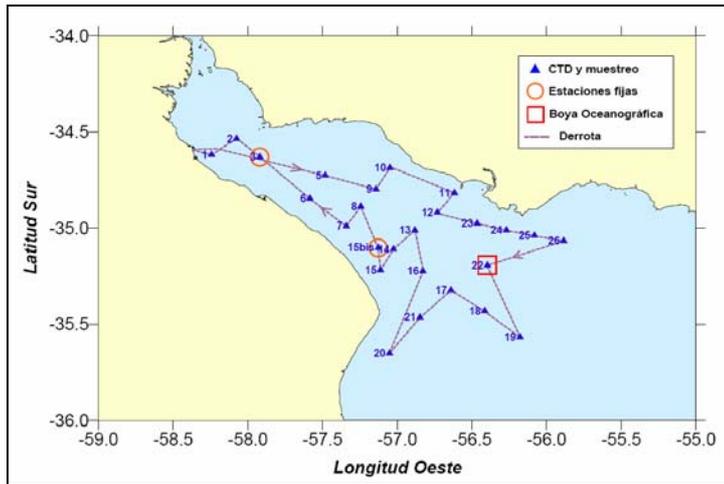


Figura 3.- Pilote Norden (panel izquierdo) y derrota de la segunda campaña (panel derecho).

La tercera campaña se llevó a cabo del 23 al 25 de junio de 2010 a bordo del buque ARA Ciudad de Rosario en donde se volvieron a reemplazar los equipos de la Torre Oyarvide y de la boya oceanográfica. En los próximos días se realizará la segunda parte de esta campaña para reemplazar el equipo de Pilote Norden.

Las siguientes campañas, a realizarse a lo largo de 2010, estarán a cargo de SOHMA (Uruguay) e INIDEP (Argentina) respectivamente.

EQUIPOS DE MEDICIÓN

Estaciones Fijas

En la estación fija de Pilote Norden se instaló un equipo SMATCH (Sonde Multiparamètres Autonome avec Téléransmission et Chloration) de la empresa NKE (Figura 4 panel izquierdo). Los sensores que posee permiten realizar medidas de presión, temperatura y conductividad. Asimismo, se instaló un sensor de turbidez en la estaca que ajusta los equipos a la columna del Pilote (figura 4

panel derecho). Los sensores están programados para medir por 10 minutos cada una hora. El sensor de turbidez posee un cepillo que barre la superficie del mismo una vez cada 10 minutos.



Figura 4.- Equipo de medición de temperatura, conductividad y presión (panel izquierdo) y equipo de medición de turbidez (panel derecho).

En Torre Oyarvide se instaló un equipo similar al existente en Pilote Norden. En este lugar funciona una estación meteorológica y mareológica, por lo que los datos obtenidos son complementados con estos valores.

En ambos lugares, los equipos fueron ajustados a una estaca o barra de hierro que se engancha mediante un mosquetón a la barra previamente amurada a la columna. Por la parte superior, ambas barras se ajustan con bulones. Para reemplazar los equipos se debe destornillar los bulones, desenganchar el mosquetón (con la ayuda de un buzo) y levantar la barra donde está el equipo. Luego, a bordo de una embarcación se extraen los datos, se cambian los equipos, se vuelve a ajustar a la barra y por último se coloca la misma.

La boya oceanográfica se fondeó en la boca del estuario, donde se encuentra el frente de salinidad, en la posición $35^{\circ} 12' S$ y $56^{\circ} 24' W$. Se encuentra amarrada a dos muertos de 5,5 toneladas de peso que la mantienen en la zona de interés y evitan que la misma derive debido a la corriente. La boya es capaz de monitorear variables atmosféricas (dirección e intensidad del viento, presión atmosférica y precipitación) mediante una estación Vaisälä, (Figura 5 panel izquierdo) y oceanográficas (temperatura, salinidad, presión, turbidez, oxígeno disuelto, fluorescencia, corrientes y olas) mediante un equipo SMATCH (Figura 5 panel central) y un ADCP, “Acoustic Doppler Current Profilers” (Figura 5 panel derecho). También cuenta con un panel solar y dos baterías (que aseguran la autonomía de la boya), y además, un GPS, un compás magnético y una antena que transmite los datos vía satélite a IFREMER, quien los distribuye por correo electrónico a los distintos centros de investigación que participan del proyecto.

El equipo SMATCH se encuentra atornillado a una barra de acero de color amarillo que se coloca en un tubo dentro de la boya, y es asegurado con dos cables de acero y mosquetones. Por esta razón, para su recambio y mantenimiento, se deben desprender los mosquetones, retirar la barra de acero con el equipo, llevarlo a bordo de la embarcación, reemplazarlo y volver a colocar el reemplazo en el mismo lugar.

Los tres equipos fueron previamente calibrados en el laboratorio y recubiertos con cinta antifouling para prevenir la formación de colonias de organismos sobre ellos. El equipo instalado en la boya es el único de los tres que cuenta con una malla de protección en cada uno de los sensores, que también previene que se adhieran organismos.

La información de corrientes y olas es adquirida por un ADCP modelo WorkHorse Sentinel de 1200 KHz de frecuencia. Dicho perfilador acústico fue seteado para medir el campo de corrientes en la columna de agua bajo la boya y almacenar su información en 2 memorias internas. Esta

información debe ser levantada durante las campañas. Este equipo también mide intensidad del eco recibido, la cual se puede utilizar como medida indirecta de turbidez en la columna de agua. El ADCP, fue atornillado, junto con el módulo adicional para las baterías, a una barra que se introduce dentro de un tubo en el piso de la boya. Al ser extraído para su mantenimiento y recolección de datos, se observó la presencia de bivalvos en la barra de sujeción.

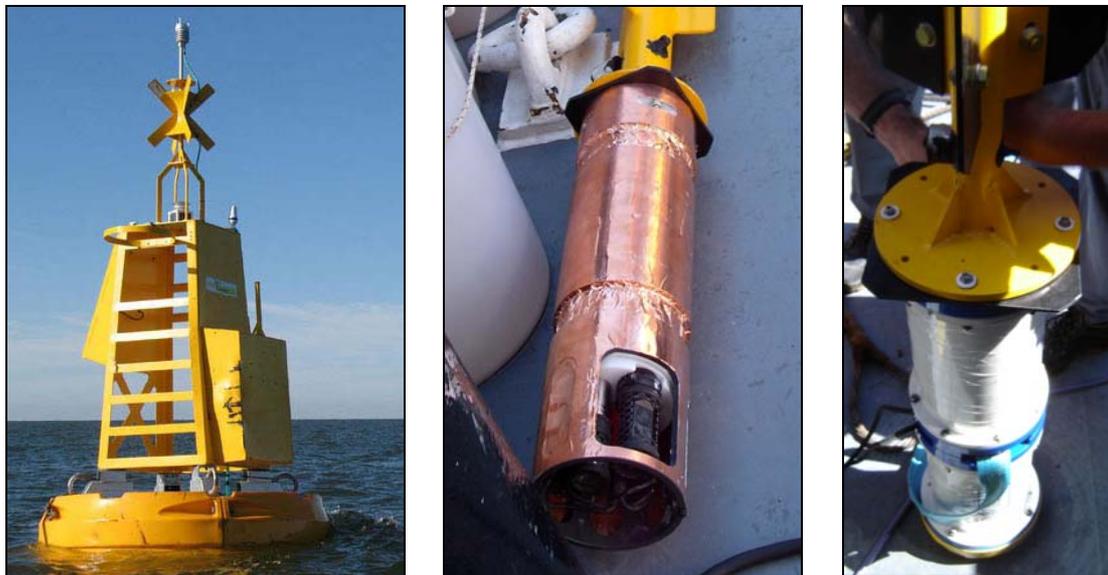


Figura 5.- Boya con equipos meteorológicos (panel izquierdo), equipo de medición oceanográficos (panel central) y ADCP (panel derecho).

Calibración y ajuste de los sensores del SMATCH

Previamente a la instalación de los equipos en las posiciones seleccionadas, se realizó en los laboratorios del SHN la calibración y ajuste de los sensores del equipo SMATCH. Como primer paso se instaló el software WinMemo, herramienta que permite descargar los datos y modificar la configuración de los sensores. La calibración fue efectuada para los siguientes parámetros: temperatura, turbidez, fluorescencia, oxígeno disuelto y conductividad. La temperatura se calibró sumergiendo cada equipo en un baño a diferentes temperaturas (10°C y 25°C). Para la turbidez se realizó una curva de calibración partiendo de una solución estándar de formazina de 4000 NTU (1 NTU= 1 ppm de formazina estándar), diluyendo la misma hasta obtener 3 soluciones de 150 NTU, 75 NTU y 25 NTU. Para la fluorescencia, la curva de calibración se construyó a partir de una solución estándar de fluoresceína de 10 mg/L, efectuando las diluciones correspondientes para obtener 4 soluciones de 1000, 500, 250 y 50 µg/L. El contenido de oxígeno disuelto se valoró previamente en una muestra de agua de río, siguiendo la metodología de Winkler (1888). Luego, el sensor se ajustó sumergiéndolo en un recipiente con dicha sustancia en agitación constante. Para la conductividad se utilizaron muestras de diferentes salinidades comparando las mediciones obtenidas con cada uno de los instrumentos, con las obtenidas a partir de un salinómetro marca Autosal Guidline 8400B.

Estaciones CTD, muestras de agua y sedimento

En cada uno de los 25 puntos seleccionados (ver Figura 1) se realizaron perfiles de conductividad, temperatura y presión (CTD), y se extrajeron muestras de agua y sedimentos de fondo. Los perfiles de CTD fueron realizados con un equipo Seabird 19 Plus que registra además de la temperatura, la conductividad y la presión o profundidad, la fluorescencia (Sea Point) y la turbidez (OBS3+). El equipo está programado para medir continuamente cada 2 Hz. Las muestras de agua fueron

extraídas con una bomba sumergible marca Flygt y los sedimentos de fondo con una draga tipo Van Veen.

RESULTADOS

A partir de los datos obtenidos por la boya oceanográfica se construyeron series de tiempo de cada una de las variables registradas para cada mes a partir de noviembre de 2009 (Figuras 6 y 7), dichas series serán utilizadas para validar en un futuro, tanto el modelo hidrodinámico MARS como las imágenes satelitales disponibles.

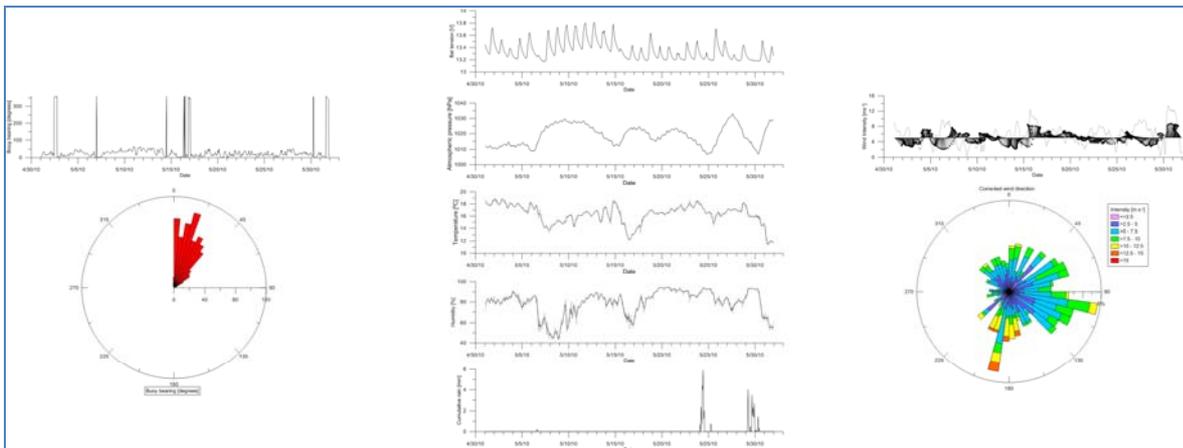


Figura 6.- Datos atmosféricos para el mes de mayo de 2010

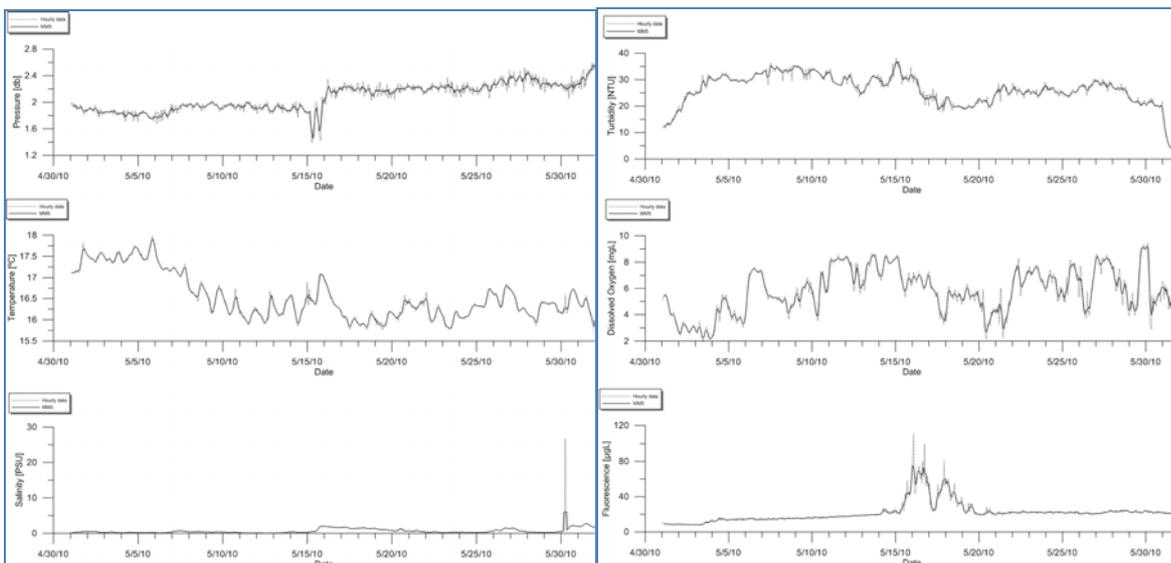


Figura 8.- Datos oceanográficos para el mes de mayo de 2010

También se cuenta con las series temporales de los datos obtenidos en las estaciones fijas de Torre Oyarvide y Pilote Norden.

Con los datos obtenidos de las estaciones CTD es posible confeccionar mapas de distribución horizontal de temperatura, salinidad, fluorescencia y turbidez (Guerrero 2009, Balestrini 2010) (Figuras 9 y 10).

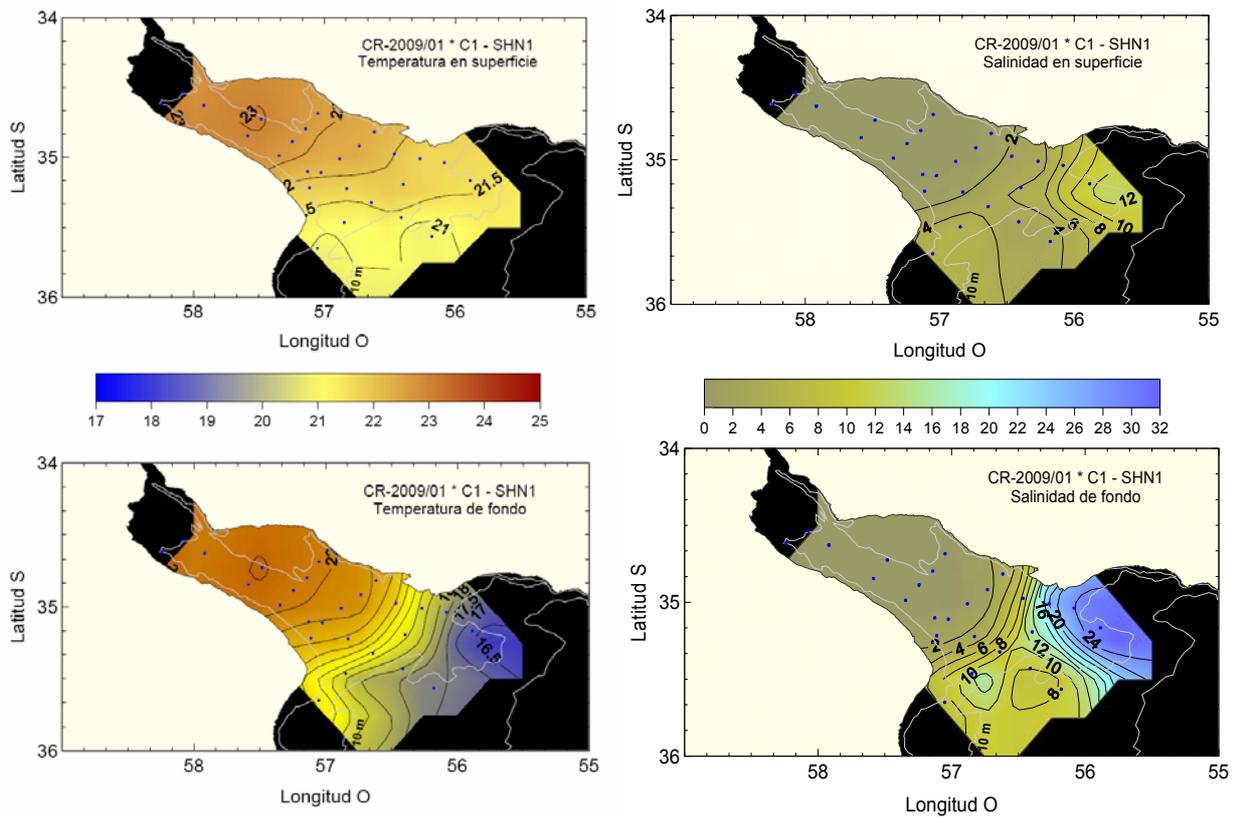


Figura 9.- Mapas de temperatura (panel izquierdo) y salinidad (panel derecho) para la superficie (paneles superiores) y para el fondo (paneles inferiores) a partir de los datos obtenidos en la campaña de noviembre 2009.

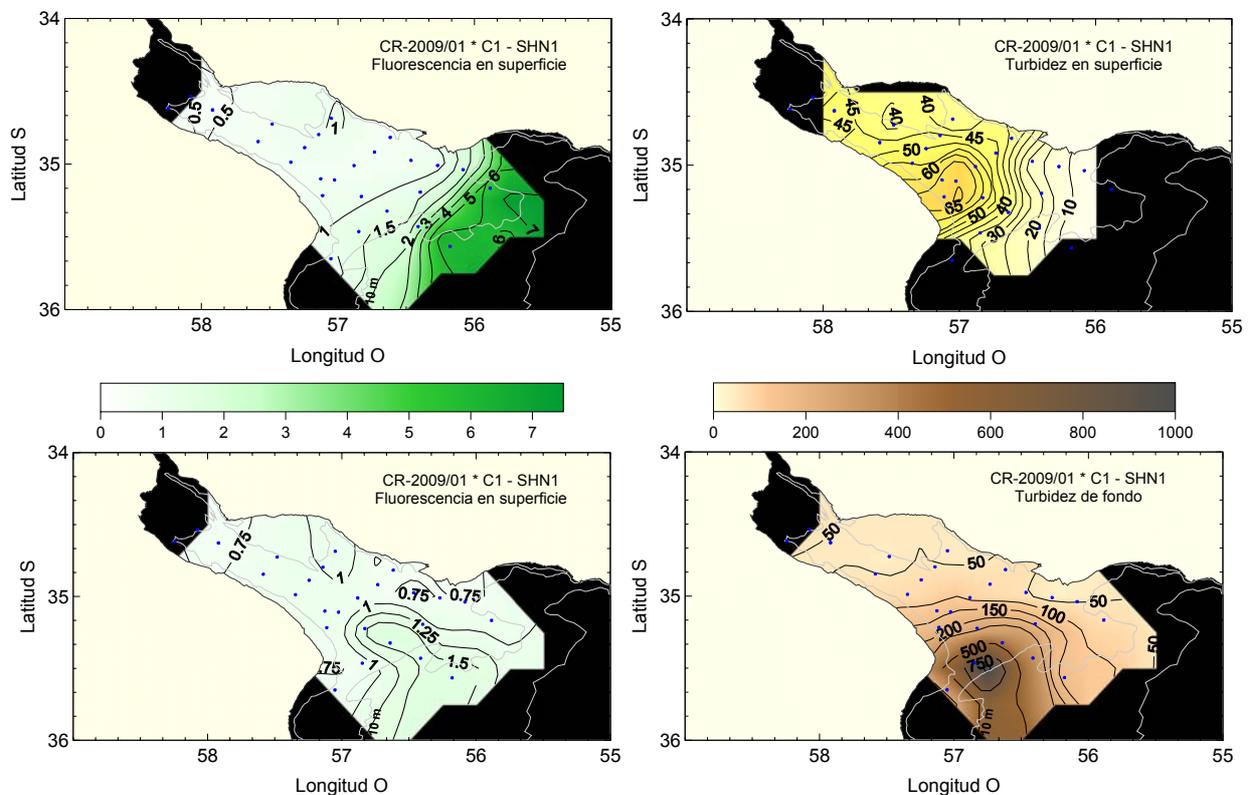


Figura 10.- Mapas de fluorescencia (panel izquierdo) y turbidez (panel derecho) para la superficie (paneles superiores) y para el fondo (paneles inferiores) a partir de los datos obtenidos en la campaña de noviembre 2009.

Los datos obtenidos a partir de las muestras de sedimentos superficiales de fondo, permiten realizar cartas de distribución de los mismos según su granulometría, así como mapear el contenido de materia orgánica del Río de la Plata en los puntos seleccionados (Figura 11).

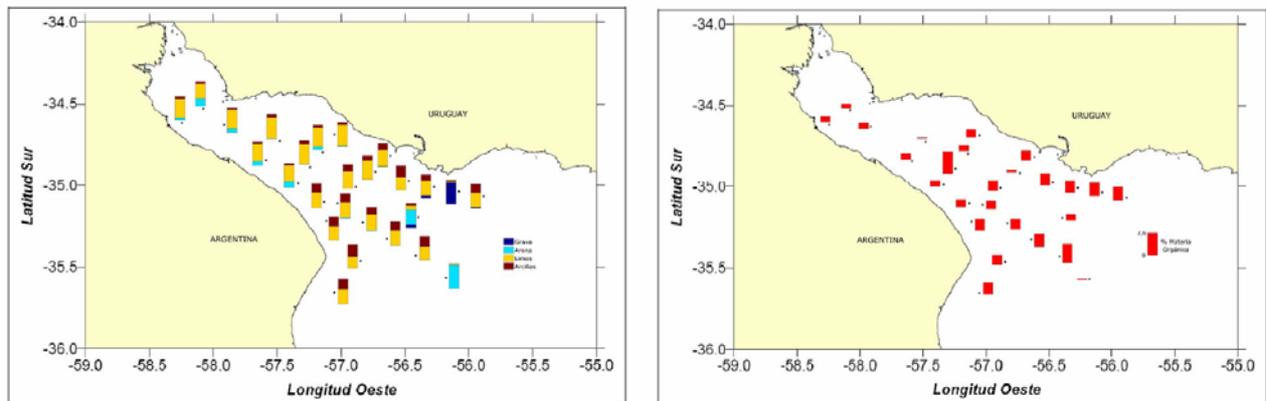


Figura 11.- Mapas de los materiales que conforman el fondo (panel izquierdo) y contenido de material orgánico (panel derecho) de las muestras de fondo obtenidos en la campaña de noviembre 2009.

Dado que las muestras de agua fueron tomadas a diferentes profundidades dependiendo de la estación realizada, se muestran por separado los mapas para los casos en que las muestras de agua son próximas a la superficie y para las muestras próximas al fondo (Figura 12).

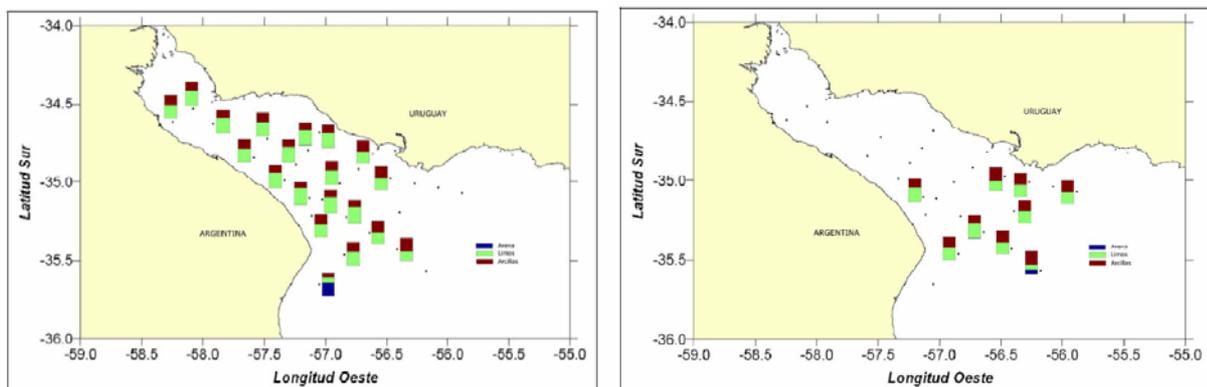


Figura 12.- Mapas de distribución granulométrica del material en suspensión para las muestras próximas a la superficie (panel izquierdo) y próximas al fondo (panel derecho) de las muestras obtenidas en la campaña de noviembre 2009.

CONCLUSIONES

Los datos generados por las campañas están siendo, en la actualidad, objeto de estudio e interpretación por parte de las instituciones participantes. Estos datos se utilizan actualmente en el desarrollo y puesta a punto del modelo MARS. La última campaña oceanográfica está prevista para noviembre de 2010. En la medida en que se introduzcan mejoras al modelo se podrán establecer comparaciones entre los datos adquiridos *in situ* y aquellos generados a través del modelo MARS.

REFERENCIAS

Acha, M.E.; Mianzan, H.; Lasta, C.A. and Guerrero, R.A. (1999): "Estuarine spawning of the whitemouth croaker *Microponias furnieri* (Pisces: Sciaenidae), in the Río de la Plata, Argentina". *Marine and Freshwater Research* 50 (1), 57-65.

Acha, E.M. and Macchi, G.J. (2000): "Spawning of Brazilian menhaden, *Brevoortia aurea*, in the Río de la Plata estuary off Argentina and Uruguay". *Fishery Bulletin* 98, 227-235.

Aminot, A. and Chaussepied, M. (1983). *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*, CNEXO, Brest, 395 pp.

Balestrini, C.F. and Bozzano, G (2010): *Informe Técnico: Resultados de la campaña Freplata-Ifremer/1*. Servicio de Hidrografía Naval, Argentina.

Cardini, J.C., Garea, M. and Campos, M. R. (2002): *Modelación del transporte de sedimentos puestos en suspensión por actividades de dragado en el Río de la Plata, para la generación en tiempo real de pronósticos de afectación de áreas costeras*. Anales del Congreso de Mecánica Computacional, Santa Fé-Paraná, Argentina, Octubre de 2002. Publicado por Mecánica Computacional, 21, 2325-2342.

Colombo J. C., Cappelletti, N., Barreda, A., Migoya, M.C. and Skorupka, C. (2005): "Vertical fluxes and accumulation of PCBs in coastal sediments of the Río de la Plata estuary, Argentina". *Chemosphere*, 61(9), 1345-1357.

Colombo J. C., Cappelletti, N., Migoya, M.C. and Speranza, E. (2007): "Bioaccumulation of anthropogenic contaminants by detritivorous fish in the Río de la Plata estuary: 2-Polychlorinated biphenyls." *Chemosphere*, 69(8),1253-60

Guerrero, R. (2009): *Informe Técnico: Informe de campaña SHNI, C1, datos CTD*. Instituto Nacional de Investigación y desarrollo Pesquero, Argentina.

Jaureguizar, A., Bava, J., Carozza, C. and Lasta, C. (2003a): "Distribution of the whitemouth croaker (*Micropogonias Furnieri*) in relation to environmental factors at the Río de la Plata Estuary, South America." *Marine Ecology Progress Series*. 255, 271-282.

Jaureguizar, A., Menni, R., Bremec, C., Mianzan, H. and Lasta, C. (2003b): "Fish assemblage and environmental patterns in the Río de la Plata estuary". *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 56 (5-6): 921-933.

Macchi, G. J., Acha, E. M. and Lasta, C. A. (1996): "Desove y fecundidad de la corvina rubia (*Micropogonias furnieri* Desmarest, 1823) del estuario del Río de la Plata" *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 12(2), 99-113.

Meccia, V. (2008): Estudios de la circulación forzada por el viento en el estuario del Río de la Plata y sus implicancias en la estratificación: resultados del análisis de datos y simulaciones numéricas. *Tesis Doctoral: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina*.

Militelli, M.I. and Macchi, G.J. (2001): "Preliminary estimate of spawning frequency and batch fecundity of Brazilian flathead, *Percophis brasiliensis*, in coastal waters off Buenos Aires Province". *Scientia Marina*, 65(2),169-172.

Simionato, C., Dragani, W., Nuñez, M. and Engel, M. (2004b): "A set of 3-D nested models for tidal propagation from the Argentinean Continental Shelf to the Río de la Plata Estuary – Part I M2". *Journal of Coastal Research*, 20(3), 893-912.

Simionato, C.G., Meccia, V., Dragani, W., Guerrero, R., and Nuñez, M. (2006b): “The Río de la Plata estuary response to wind variability in synoptic to intra-seasonal time scales: barotropic response”. *Journal of Geophysical Research, Oceans*, 111(C09031), doi:10.1029/2005JC003297.

Simionato, C.G., Meccia, V., Guerrero, R., Dragani, W. and Nuñez, M. (2007): “The Río de la Plata estuary response to wind variability in synoptic to intra-seasonal time scales: II currents vertical structure and its implications on the salt wedge structure”. *Journal of Geophysical Research, Oceans*, 112(C07005), doi:10.1029/2006JC003815.

Simionato, C.G., Berasategui, A., Meccia, V., Acha, M. and Mianzán, H. (2008): “Short time-scale wind forced variability in the Río de la Plata Estuary and its role on ichthyoplankton retention. Estuarine”. *Coastal and Shelf Science*, 76(2), 211-226.