

Estudio de la relación entre turbidez y concentración de sedimentos en suspensión en función de la granulometría en el Río de la Plata

RESUMEN

Berden Giuliana (1), Claudia Simionato (1) (2), Ana Dogliotti (3), Diego Moreira (1).

(1) DCAO-Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Universidad de Buenos Aires. (2) CIMA- Centro de Investigación del Mar y la Atmósfera. (3) IAFE-Instituto de Astronomía y Física del Espacio.

E-mail: giuliberden@gmail.com

RESUMEN: El problema de los sedimentos en estuarios y mares costeros es complejo. Esto hace que las observaciones sean indispensables para describir y entender los procesos que localmente son importantes y para calibrar y validar los modelos numéricos. De esta manera, las aplicaciones generalmente se realizan a través de estudios de modelado numérico apoyados por observaciones *in situ* y/o remotas. Existe un considerable interés en el uso de datos remotos para proporcionar mapas sinópticos de material particulado en suspensión (MPS) en aguas costeras. Sin embargo aún no se dispone de algoritmos que sean válidos a nivel global para estimar las concentraciones de sedimentos a partir de observaciones satelitales. Las observaciones remotas son generadas a partir de las propiedades ópticas (como la absorción y dispersión) del agua y sus componentes. De esta manera, a partir de las observaciones remotas se puede obtener por ejemplo información de la turbidez, definida como la dispersión de la luz a 90° con respecto a una sustancia de referencia (Formazina). Luego, a partir de una relación local entre turbidez y MPS pueden obtenerse mapas de MPS a partir de sensores remotos (Dogliotti *et al.* 2015). La relación empírica entre la turbidez y la concentración de MPS presenta diferencias en función del conjunto de datos utilizados. Moreira *et. al.* 2013 encontraron en el Río de la Plata una relación lineal entre ambas variables que presenta gran variabilidad. Estas variaciones se podrían deber al tipo de sedimento, forma y tamaño, presente.

En este trabajo se realizó un estudio de la variación de la relación entre turbidez y MPS considerando diferentes patrones de granulometría en el Río de la Plata a partir de datos de turbidez, MPS y granulometría obtenidos durante las campañas realizadas en el marco del Experimento FREPLATA/FFEM.

INTRODUCCIÓN

El estuario del Río de la Plata (RdP) posee una gran importancia ecológica, social y económica para Argentina y República Oriental del Uruguay. Las capitales de ambos países, Buenos Aires y Montevideo, se encuentran sobre sus costas al igual que numerosas ciudades, puertos y centros industriales (Figura 1), (Simionato et. al. 2006). La importancia del RdP no solo reside en ser fuente de agua dulce para gran parte de la población de sus alrededores, sino que también presenta vías navegables que permiten el desarrollo de la actividad económica marítima para todos los países que integran la Cuenca del Plata. A su vez, el estuario es escenario de una gran actividad deportiva y recreativa, como la navegación a vela. Además, es un sitio de desove y cría de peces de gran importancia económica en la zona.

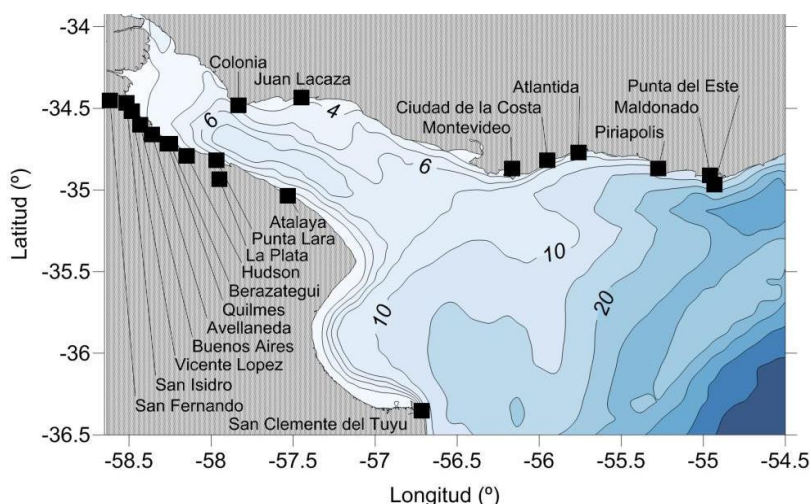


Figura 1. El Río de la Plata, su batimetría y ciudades aledañas.

El estuario posee bajas profundidades (Figura 1), un gran transporte de material sólido, del orden de 80 a 160×10^6 toneladas por año (Depetris and Griffin, 1968) y una tasa de sedimentación muy alta que varía en función de la zona de estudio. Por estos motivos el dragado periódico de los canales del RdP (Figura 2) es necesario para permitir el tráfico marítimo demandado por los puertos. Menéndez (1994) encontró, mediante ensayos numéricos, que la tasa de sedimentación en el canal Mitre y canal Martín García varía en función del calado de los mismos, variando desde aproximadamente $7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ para 28 pies hasta aproximadamente $30 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ para 46 pies de profundidad. Estas operaciones de mantenimiento pueden ser optimizadas con un mayor conocimiento acerca de las áreas de erosión y acreción de los sedimentos en el estuario.



Figura 2. Canales de navegación en el Río de la Plata.

El dragado puede cambiar la dinámica de los sedimentos afectando directamente a la biota de la región. El estuario es un ambiente óptimo para el desove y cría de numerosas especies de peces (Cousseau, 1985; Boschi, 1988); el ejemplo más típico es la Corvina Rubia (Figura 3), principal soporte de las pesquerías costeras de Argentina y Uruguay. Su ciclo de vida está ligado a las condiciones ambientales, en especial parece haber una íntima relación con la turbidez (*Estudio de la Dinámica Hidro-Sedimentológica del RdP*,

FREPLATA, 2011), por lo que un mayor entendimiento de la dinámica de los sedimentos en suspensión brindaría un conocimiento importante para determinar los efectos del mantenimiento de los canales en los ciclos biológicos de los peces y la definición de áreas a conservar.



Figura 3. Corvina rubia (*Micropogonias furnieri*).

Asimismo, los sedimentos en suspensión son medios de transporte para diversos contaminantes presentes en el agua. Existen zonas del estuario donde estos contaminantes se depositan en el fondo debido a procesos de sedimentación. Luego, estos sedimentos pueden ser resuspendidos y transportados hacia zonas donde pueden ser incorporados a la cadena trófica, lo cual implicaría una amenaza a los pobladores que los consumen (*Estudio de la Dinámica Hidro-Sedimentológica del RdP, FREPLATA, 2011*).

El estudio de la dinámica de los sedimentos en suspensión en el RdP contribuye a una mejora en la calidad de vida de los pobladores de Argentina y Uruguay, así como de la biota presente. Sin embargo el problema de los sedimentos en estuarios y mares costeros es complejo, una de las causas es que procesos de floculación están presentes en la dinámica de las partículas finas (Fossati, 2013). Por otra parte, los procesos sedimentológicos no responden a leyes universales sino que son altamente sitio-dependientes. Esto hace que las observaciones sean indispensables para describir y entender los procesos que localmente son importantes y para calibrar y validar los modelos numéricos. De esta manera, las aplicaciones generalmente se realizan a través de estudios de modelado numérico apoyados por observaciones *in situ* y/o remotas. Existe un considerable interés en el uso de sensores remotos para proporcionar mapas sinópticos de material particulado en suspensión (MPS) en aguas costeras. Sin embargo aún no se dispone de algoritmos que sean válidos a nivel global para estimar las concentraciones de sedimentos a partir de observaciones satelitales para la estimación local. Las observaciones remotas son determinadas a partir de las propiedades ópticas (como la absorción y dispersión) del agua y sus componentes. De esta manera, a partir de las observaciones remotas se puede obtener, por ejemplo, información acerca de la turbidez, definida como la dispersión de la luz a 90° con respecto a una sustancia de referencia como la Formazina. La turbidez es la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión. Por lo que a partir de una relación local entre turbidez y MPS (por ejemplo, Moreira *et al.* 2013) pueden obtenerse mapas de MPS a partir de imágenes satelitales (Dogliotti *et al.* 2015).

Se sabe que la relación entre la turbidez y la concentración de MPS es principalmente afectada por la distribución del tamaño de partículas y en menor medida por el tipo de sedimentos (composición). Gohin (2011), Snedden *et. al.* (2007) y Petus *et. al.* (2010) encontraron diferentes relaciones en áreas de estudio distintas. En el Río de la Plata, Moreira *et. al.* (2013) encontraron una relación lineal entre ambas variables de $MPS=0.73 \cdot \text{Turbidez}$. La relación empírica entre ambas variables presenta gran dispersión, la cual los autores atribuyen, en parte, a la variabilidad del tamaño y tipo de la partícula en distintas regiones del estuario.

En este trabajo se analiza la variación de la relación entre turbidez y MPS considerando diferentes patrones de granulometría en el Río de la Plata a partir de datos de turbidez, MPS y granulometría obtenidos durante las campañas realizadas en el marco del Experimento FREPLATA/FFEM realizados entre 2009-2010.

ÁREA DE ESTUDIO

El Río de la Plata (RdP) es uno de los estuarios más grandes y someros del mundo con una profundidad media de 10 m; está ubicado sobre la costa este de Sudamérica a una latitud de aproximadamente 35°S. Su orientación general es del sudeste a noroeste y presenta una geometría con forma de embudo, con una extensión de 300 km de largo y un ancho que varía desde 40 km en su extremo superior hasta 220 km en su boca (Simionato *et. al.*, 2004). Desde el punto de vista geográfico, el estuario se ha dividido clásicamente en tres secciones (Urien, 1972; Gagliardini *et.al.*, 1984; Boschi, 1988; Perillo *et. al.*, 1999): el "sector interno o superior", (región llamada Playa Honda) desde la cabecera hasta la línea imaginaria que une la ciudad uruguaya de Colonia con la ciudad de Buenos Aires, sobre la costa argentina con características fluviales ya afectada por mareas; el "sector intermedio", desde la finalización del sector anterior hasta la línea que une la capital de Uruguay (Montevideo) con Punta Piedras dominada por bancos someros y frentes de estuario; y por último el "sector exterior" con típicas características marinas, desde el límite anterior hasta la línea que une Punta del Este con Punta Rasa (Figura 4).

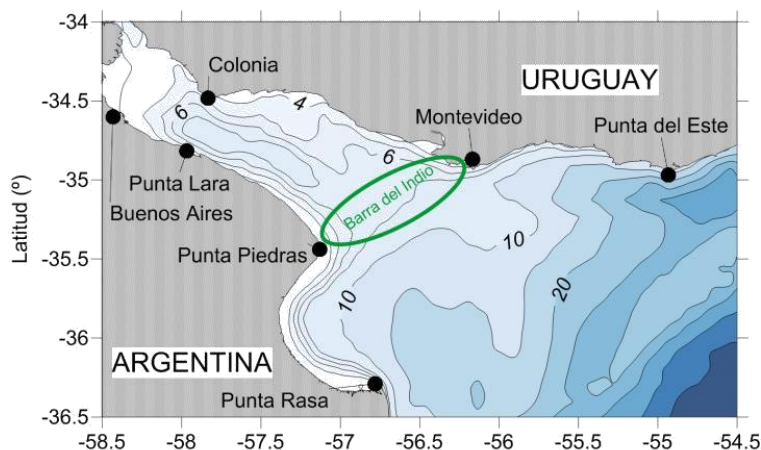


Figura 4. Mapa batimétrico y referencias geográficas del Río de la Plata

El RdP drena las aguas de la cuenca del Plata (Figura 5), cuya extensión es de aproximadamente 3.200.000 km² (Framiñan *et. al.* 1999; Tossini 1959). Su caudal está prácticamente determinado por el de

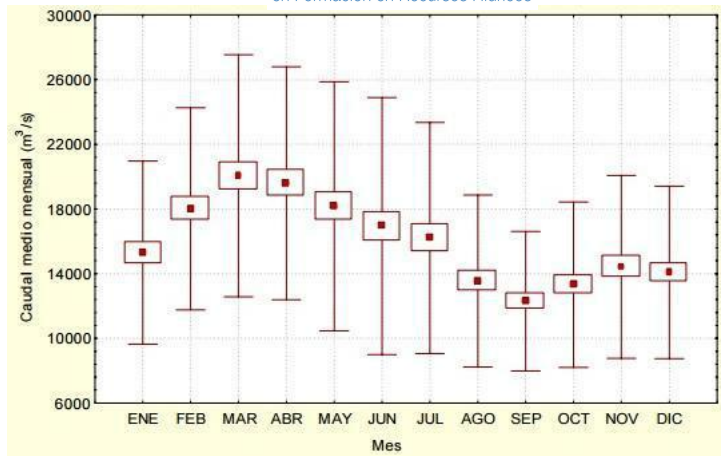


Figura 7. Evolución anual promedio de caudales medios mensuales en el río Paraná (1931-2001). Adaptado de 'Análisis del Régimen Hidrológico de los Ríos Paraná y Uruguay', INA, 2002.

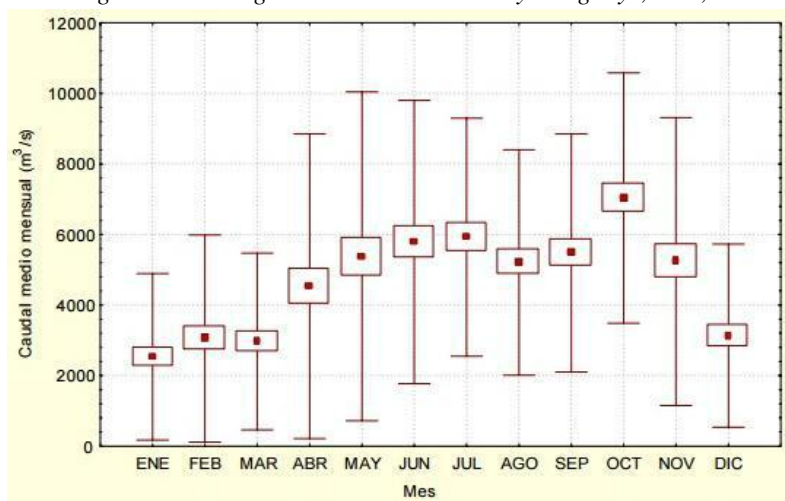


Figura 8. Evolución anual promedio de caudales medios mensuales en el río Uruguay (1931-2001). Adaptado de 'Análisis del Régimen Hidrológico de los Ríos Paraná y Uruguay', INA, 2002.

Como se puede observar en la imagen satelital (figura 6), los sedimentos en suspensión que llegan al RdP ingresan mayormente por el Río Paraná. Según Urien (1972), el promedio anual de la carga suspendida proveniente del Río Uruguay es de 7 millones ton/año y la proveniente del Río Paraná es de 72.8 millones de ton/año. Estos últimos provienen principalmente de uno de sus afluentes, el Río Bermejo (el 81%, Brea y Spalletti, 2010), a través del Río Paraguay (Figura 9).



Figura 9. Imagen satelital (color casi-verdadero) de la desembocadura del Río Paraguay sobre el Río Paraná.

DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

Los datos analizados en este trabajo corresponden a observaciones adquiridas durante 6 campañas oceanográficas realizadas en marco del Proyecto *Protección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Prevención y Control de la Contaminación y Restauración de Hábitats (FREPLATA)*. La unidad ejecutora fue el Servicio de Hidrografía Naval (SHN) de Argentina, con la participación del Servicio de Oceanografía y Meteorología de la Armada del Uruguay, el Instituto Frances de Investigación para la Explotación del Mar (IFREMER) de Francia, el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA) y el Instituto de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), de Argentina. Las campañas se efectuaron durante los siguientes periodos:

- 1: 23-28 de noviembre de 2009
- 2: 17-19 de marzo de 2010
- 3: 23-25 de junio de 2010
- 4: 23-27 de agosto de 2010
- 5: 25-28 de octubre de 2010
- 6: 15-17 de diciembre de 2010

Durante cada campaña se realizaron 26 estaciones de observación, cuyas posiciones geográficas se muestran en la Figura 10. En cada una se obtuvieron muestras de agua cerca de la superficie y el fondo, que fueron procesadas en laboratorio para MPS, turbidez y granulometría de los sedimentos en suspensión. También se realizaron simultáneamente estaciones con un perfilador CTD marca SeaBird, modelo SBE-19plus V2, equipado con un sensor combinado de fluorescencia y turbidez marca Wet-Labs, modelo ECOFLNTU(RT) en las campañas 2, 3, 4, 5 y 6; y con un sensor de turbidez *OBS3+* en la campaña 1 (*Informe Técnico Experimento FREPLATA/FFEM, 2010*).

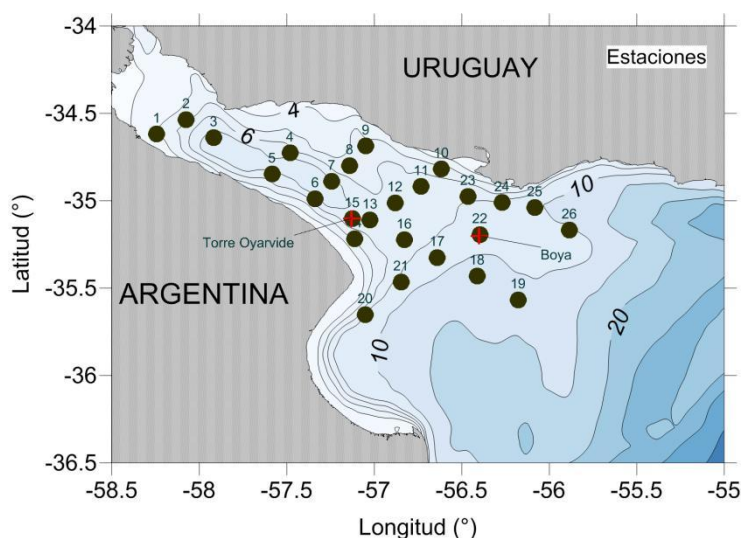


Figura 10. Boya oceanográfica, estación fija Torre Oyarvide y estaciones de muestro de las campañas realizadas en el marco del Experimento FREPLATA/FFEM.

Turbidez superficial

Las determinaciones de turbidez superficial fueron realizadas a bordo mediante el empleo de un turbidímetro marca HACH, modelo 2100P-ISO (*Informe Experimento FREPLATA/FFEM, 2010*). La turbidez superficial

obtenida de las muestras de agua presenta un valor medio de 61 NTU sobre todo el estuario, con un desvío estándar de 62 NTU. Se observa una gran variabilidad espacial de la turbidez promedio para cada estación y una gran variabilidad temporal de la turbidez en el norte de la Bahía de Samborombón (Figura 11).

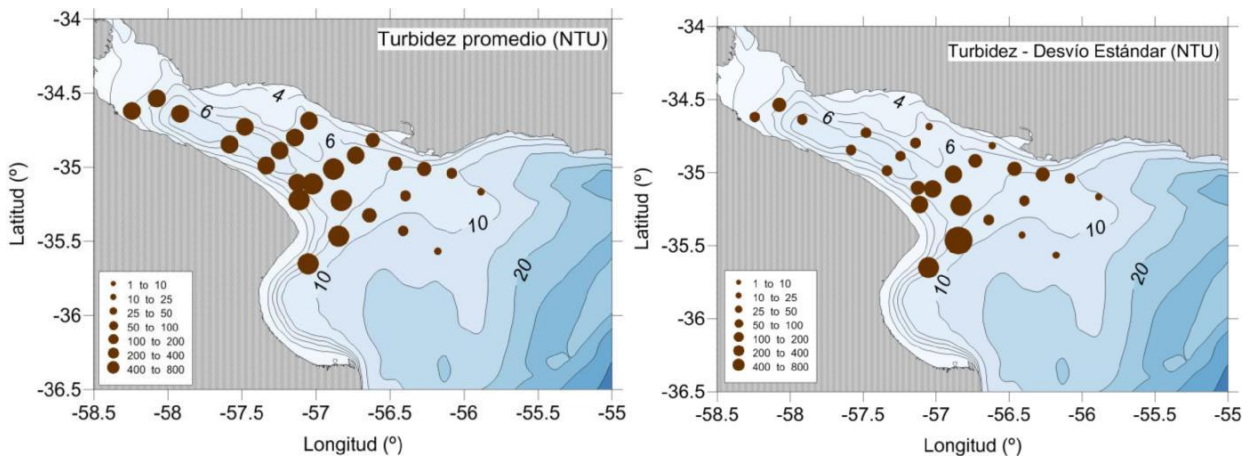


Figura 11. Turbidez superficial promedio (izquierda) y desvío estándar (derecha) (NTU) obtenidas a partir de las observaciones realizadas en marco del Experimento FREPLATA/FFEM.

Concentración de MPS superficial

Para la determinación de la concentración de MPS se tomaron muestras de 1 litro de agua para su posterior tratamiento en el laboratorio de Geología del SHN, mediante el empleo de un tren de filtrado, la utilización de celulosa y acetato de 47 mm de diámetro y 0.45 μm de poro, su posterior secado y pesado (*Informe Técnico Experimento FREPLATA/FFEM, 2010*). En los informes del SHN no se presentan datos de concentración de MPS para la campaña 6. La concentración de MPS en el RdP durante las 5 primeras campañas presenta un valor medio de 45 mg/l sobre todo el RdP, con un desvío estándar de 40 mg/l. El promedio temporal de la concentración de MPS presenta valores máximos al norte de la Bahía de Samborombón y valores mínimos mar adentro (Figura 12, izquierda). Respecto a la variabilidad temporal de la concentración de MPS, se observa un máximo en la estación 20 y valores mínimos hacia mar adentro (Figura 12, derecha).

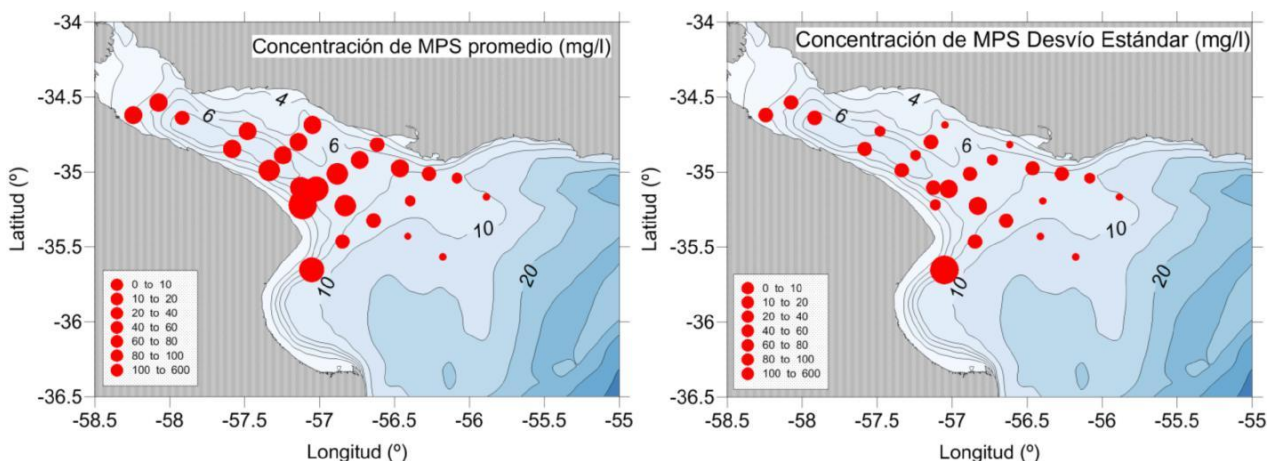


Figura 12. Concentración de MPS superficial promedio (izquierda) y desvío estándar (derecha) (mg/l) obtenidas a partir de las observaciones realizadas en marco del Experimento FREPLATA/FFEM.

Análisis granulométrico de sedimentos en suspensión

La determinación de los perfiles granulométricos de sedimentos en suspensión estuvo a cargo del laboratorio de Sedimentología del Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos. Durante las campañas desarrolladas en el marco del Experimento FREPLATA/FFEM se tomaron muestras de agua de 20 litros que fueron almacenados en bidones para su posterior tratamiento. Se dejaron en reposo durante 4 semanas para la separación de la fracción sólida, la cual fue sometida a reacción con peróxido de oxígeno (H_2O_2) al 20% para la eliminación de la materia orgánica. Posteriormente fue lavada con agua destilada y centrifugada para la separación de la fracción sólida. La porción seca fue analizada mediante un analizador de partículas marca —Cilasl modelo 1180, el cual utiliza un sistema óptico de difracción laser integrado que le permite medir partículas de entre 0.04 y 2500 μm en una sola medición. Las partículas más finas (0.04-500 μm) son medidas capturando un patrón de difracción y aplicando la teoría de Fraunhofer o de Mie. Las partículas más gruesas son medidas utilizando transformadas de Fourier en tiempo real de la imagen obtenida por la cámara CCD, equipada con una unidad de procesamiento digital (*Informe Técnico Experimento FREPLATA/FFEM, 2010*).

Durante las campañas se obtuvieron 114 perfiles granulométricos (5 campañas de 26 estaciones cada una). El perfil medio se muestra en la figura 13, donde se puede notar una predominancia de sedimentos con 18.0 μm (0.018 mm) de diámetro, asociados a limos según la clasificación de Wentworth (Tabla 1). La distribución granulométrica presenta la mayor variabilidad ($\pm 6.6 \mu m$) en los 22.0 μm , disminuyendo hacia ambos lados.

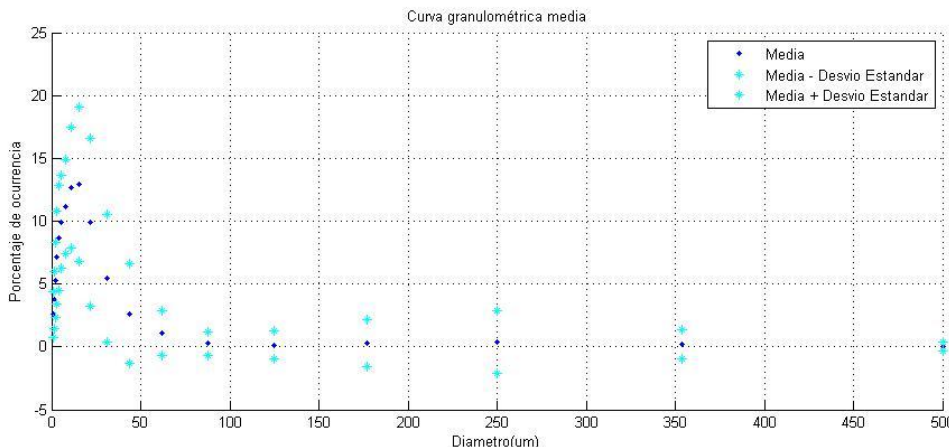


Figura 13. Perfil granulométrico medio obtenido a partir de las observaciones realizadas en marco del Experimento FREPLATA/FFEM. Escala lineal.

Tabla 1- Clasificación granulométrica. Adaptado de *Shore Protection Manual, Volumen 1, 1984* y D'apres DYER, 1985.

Diámetro (mm)	Φ (Phi)	Clasificación Wentworth	
$256.0 > d$	$\Phi < -8.0$	Canto Rodado	
$64.0 > d > 256.0$	$-8.0 < \Phi < -6.0$	Adoquín	
$64.0 > d > 4.0$	$-6.0 < \Phi < -2.0$	Guijarro	
$4.0 > d > 2.0$	$-2.0 < \Phi < -1.0$	Grava	
$2.0 > d > 1.0$	$-1.0 < \Phi < 0.0$	Muy gruesa	Arena
$1.0 > d > 0.5$	$0.0 < \Phi < 1.0$	Gruesa	
$0.5 > d > 0.25$	$1.0 < \Phi < 2.0$	Mediana	
$0.25 > d > 0.125$	$2.0 < \Phi < 3.0$	Fina	
$0.125 > d > 0.062$	$3.0 < \Phi < 4.0$	Muy fina	
$0.062 > d > 0.031$	$4.0 < \Phi < 5.0$	Grueso	Limo
$0.031 > d > 0.016$	$5.0 < \Phi < 6.0$	Mediano	
$0.016 > d > 0.008$	$6.0 < \Phi < 7.0$	Fino	
$0.008 > d > 0.0039$	$7.0 < \Phi < 8.0$	Muy fino	
$0.039 > d > 0.0024$	$8.0 < \Phi < 12.0$	Arcilla	
$0.0024 > d$	$12.0 < \Phi$	Coloide	

METODOLOGÍA

Con el objetivo de estudiar la variación de la relación entre turbidez y MPS considerando diferentes patrones de granulometría en el Río de la Plata se realizó un análisis de componentes principales (CP) a partir de los histogramas de granulometría. Para ello se utilizaron las herramientas de Matlab y Statistica. La distribución granulométrica del sedimento contiene mucha información en pocos intervalos de clase y poca información en otros, lo que podría resultar en una baja relación entre la señal y el ruido. Por lo tanto se realizó el análisis sobre la anomalía, definida como la muestra menos la curva media.

Por medio de este método estadístico se obtienen curvas granulométricas características, independientes entre sí. Estas curvas no son representativas de la distribución granulométrica, sin embargo es de gran utilidad la visualización de las mismas (Figura 14). Cada modo explica cierto porcentaje de la varianza total, CP1: 59,8%; CP2: 25,04% los modos posteriores explican menos del 6% de la varianza total.

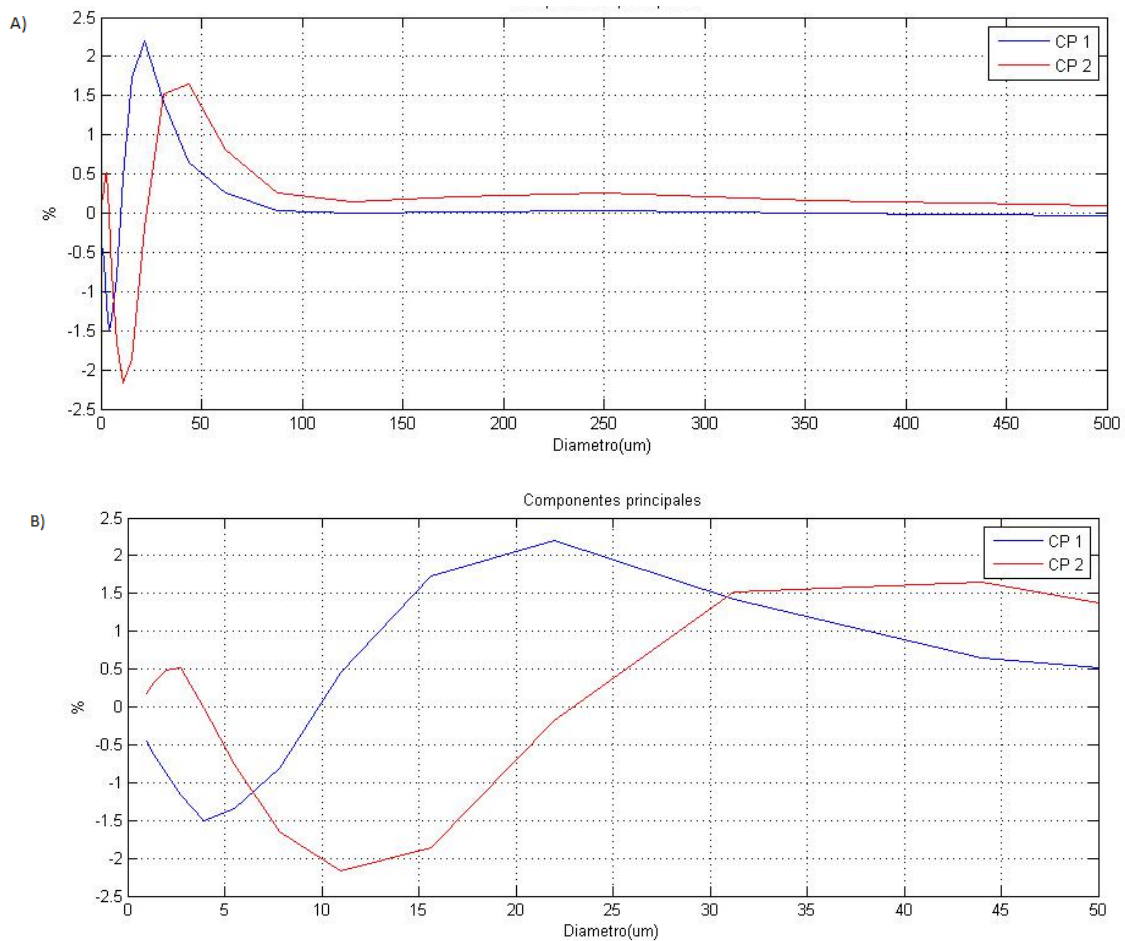


Figura 14. Componentes principales calculadas en base a la anomalía de las curvas granulométricas, las dos con mayor varianza explicada. Escala lineal. A) Perfil completo. B) Ampliación.

Se puede observar que la CP1 en su modo positivo posee un mínimo asociado a sedimentos finos, correspondientes a arcilla y limo fino (2-10 μm) con el pico mínimo en limo muy fino (4 μm); y presenta un máximo asociado a sedimentos del tipo limo medio y grueso (12-40 μm), con un pico en limo medio (22 μm). La CP2 en su modo positivo posee un máximo relativo en los sedimentos muy finos, correspondientes a arcilla (1-3 μm); un mínimo en sedimentos del tipo de limo fino y muy fino (6-18 μm), con un pico mínimo en limo fino (11 μm); y un máximo de sedimentos del tipo limo grueso (29-57 μm) (Tabla 1).

Cada CP posee una correlación (factor loading) con cada anomalía de curva granulométrica original que nos indica la varianza explicada por la misma. A partir de estas correlaciones se agruparon las estaciones según su correlación positiva o negativa, mayor a 0.7 en módulo, con la CP1. En lo que respecta a la varianza explicada por la CP2 no se observan patrones claros de correlaciones significativas, por lo que no se utiliza en este estudio.

RESULTADOS

Se estudió la relación entre concentración de MPS y T, en particular la posibilidad de identificar diferentes relaciones en función de la granulometría de los sedimentos en suspensión. En este estudio se descarta la campaña 6 por falta de datos de MPS.

Se hallaron las relaciones entre T y MPS de las estaciones en las cuales se tiene ambos datos y se posee una correlación significativa con CP1, ya sea positiva (R+, con 30 estaciones) o negativa (R-, con 42 estaciones) (figura 15). La relación encontrada para R+ posee un $R^2=0.971$, mientras que la de R- posee un $R^2=0.647$.

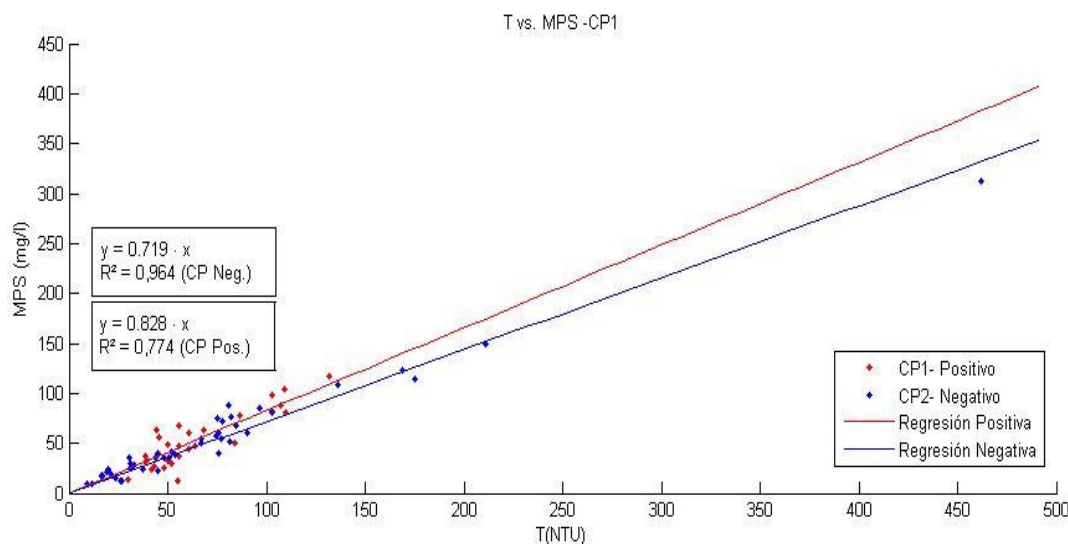


Figura 15. Relación entre T (NTU) y MPS (mg/litro) considerando las estaciones con correlación significativa positiva (rojo) y negativa (azul) con CP1.

Se testeó las relaciones encontradas por medio de un test de T-student (Devore, 2008), considerando n igual a 30 (positiva) y 42 (negativa). Para ello se consideró:

- $H_0: \rho=0$

- $H_a: \rho \neq 0$, cuyo parámetro es $T = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}}$ y grados de libertad (g.l.) igual a n-2.

- $\alpha=0.005$

En ambos casos las regresiones lineales encontradas son estadísticamente significativas con una confianza de 99.5%. Posteriormente se analizó si existe una diferencia significativa entre las rectas encontradas para ambos grupos de datos. Para ello se utilizó un test de paralelismo siguiendo la metodología planteada por Kleinbaum y Kupper (1978). Se halló que son significativamente diferentes con una confianza del 70%.

Como resultado se obtuvo una mayor variabilidad en la relación entre T y MPS en las estaciones asociadas a un CP1 negativo, es decir con un máximo en sedimentos finos (limo fino y arcilla) y un mínimo de sedimentos intermedios (limo medio y grueso). Mientras que las estaciones asociadas con el CP1 positivo, mínimo en sedimentos finos y máximo en sedimentos intermedios, posee una relación entre T y MPS con menor varianza. Por otro lado se encontró que las rectas difieren con un 70% de confianza, resultado relevante dada la poca disponibilidad de datos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este trabajo se estudió la relación entre T y MPS en función de la granulometría de los sedimentos en suspensión. Este análisis se realizó para un conjunto de datos del RdP obtenidos en 2009 y 2010 en el marco del Experimento FREPLATA/FFEM. A partir de este conjunto de datos se vio que el RdP posee sedimentos en suspensión del tipo limo, que concuerda con Brea y Spalleti (2010). Las muestras granulométricas mostraron que el estuario presenta variaciones menores en la concentración de sedimentos finos (limo fino y arcilla) y sedimentos intermedios (limo medio y grueso) respecto del perfil granulométrico medio observado. Por lo que de los 114 perfiles granulométricos iniciales, aproximadamente el 63% de ellos presenta variaciones suficientes para analizar la dependencia de la relación de T y MPS con la granulometría. Mientras que el 37% restante posee un perfil semejante a la media observada.

A partir de esta diferenciación en la granulometría se encontró una distinción entre las relaciones de T y MPS de ambos grupos con un 70% de confiabilidad. Las variaciones en los tamaños de sedimentos encontradas en el conjunto de datos disponible son pequeñas respecto a la curva media granulométrica. Por lo que es de esperar que la diferencia entre las relaciones entre T y MPS para ambos grupos no sea rotunda. Sin embargo este resultado tiende a pensar que la pendiente presenta una dependencia con el tamaño de los sedimentos.

Una posible línea de acción pendiente para mejorar el algoritmo de estimación de MPS a partir de observaciones satelitales en el RdP sería la caracterización espacial y temporal de la granulometría en el estuario. Si las diferencias en los tamaños de sedimentos no son lo suficientemente marcadas, se podría utilizar una relación única en todo el RdP. Mientras que si estas diferencias son significativas, se podría regionalizar el estuario y establecer relaciones particulares según la granulometría con mayor robustez.

REFERENCIAS

- Boschi, E. E., 1988. *El ecosistema estuarial del Río de la Plata*.
- Brea, J.D., Spalletti, P.D., 2010. *Generación y transporte de sedimentos en la Cuenca Binacional del Río Bermejo*.
- Cousseau, M. B., 1985. *Los peces del Río de la Plata y de su frente marítimo*.
- Devore, J. L., 2008. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Quinta Edición
- Depetris P. J., Griffins, J.J., 1968. *Suspended load in the Río de la Plata drainage basin*. *Sedimentology*, 11, 53-60.
- Dogliotti, A., Ruddick, K., Nechad, B., Doxaran, D., and Knaeps, E., 2015. *A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters*, *Remote Sens. Environ.*, 156, 157–168.
- Fossati, M., 2013. *Dinámica global de sedimentos finos en el Río de la Plata*.
- Framiñan, M. B., Etala, M. P., Acha, E. M., Guerrero, R. A., Lasta, C. A., & Brown, O. B. (1999). *Physical characteristics and processes of the Río de la Plata estuary*. In *Estuaries of South America* (pp. 161-194). Springer Berlin Heidelberg.
- Gagliardini, D.A., Karszenbaum, H., Legeckis, R., Klemas, V., 1984. *Application of Landsat MSS, NOAA/TIROS AVHRR, and Nimbus CZCS to study the La Plata river and its interaction with the ocean*. *Remote sensing of environment*, 15(1), 21-36.
- Gohin, F., 2011. *Annual cycles of chlorophyll-a, non-algal suspended particulate matter, and turbidity observed from space and in-situ in coastal waters*. *Ocean Science* 7, 705–732, <http://dx.doi.org/10.5194/os-7-705-2011>.
- Jaime, P., Menéndez, A., Urriburu Quirno, M. y Torchio, J., 2002. *Análisis del régimen hidrológico de los ríos Paraná y Uruguay*. Informe LHA 05-216-02. Instituto Nacional del Agua, Buenos Aires, Argentina.
- Kleinbaum, D., Kupper, L., 1978. *Applied regression analysis and other multivariable methods*.
- Menéndez, A.N., 1994. *Simulación numérica de la sedimentación en canales de navegación*. *Información Tecnológica—Revista Latinoamericana*, 5(4), 71-77.
- Moreira, D., Simionato, C.G., Gohin, F., Cayocca, F., Luz Clara Tejedor, M., 2013. *Suspended matter mean distribution and seasonal cycle in the Río de La Plata estuary and the adjacent shelf from ocean color satellite (MODIS) and in-situ observations*. *Continental Shelf Research*.
- Nagy, G. J., Martinez, C. M., Caffera, R. M., Pedraloza, G., Forbes, E. A., Perdomo, A. C., Laborde, J. L., 1997. *The hydrological and climatic setting of the Río de la Plata*. In: *The Río de la Plata, An Environmental Review, An EcoPlata Project Background Report*. Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, pp. 17—68.
- Petus, C., Chust, G., Gohin, F., Doxaran, D., Froidefond, J.M., Sagarminaga, Y., 2010. *Estimating turbidity and total suspended matter in the Adour River plume (South Bay of Biscay) using MODIS 250-m imagery*. *Continental Shelf Research* 30, 379–392.
- Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. (1999). *The Argentina estuaries: a review*. In *Estuaries of South America* (pp. 101-132). Springer Berlin Heidelberg.

- Simionato, C.G., Meccia, V.L., Dragani, W.C., Nuñez, M.N., 2006. *On the use of the NCEP/NCAR surface winds for modeling barotropic circulation in the Río de la Plata Estuary*. Journal of Geophysical Research 111, C09031. doi: 10.1029/2005JC003297.
- Snedden, G. A., Cable, J. E., Swarzenski, C., Swenson, E., 2007. *Sediment discharge into a subsiding Louisiana delta ice stuary through a Mississippi River diversion*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 0272-7714/11,181–193, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2006.06.035>
- Tossini, L., 1959. *Sistema hidrográfico y cuenca del Río de la Plata : contribución al estudio de su régimen hidrológico*.
- Urien, C. M., 1972. *Río de la Plata estuary environments*. *Geological Society of America Memoirs*, 133, 213-234.