

# SEDIMENTACIÓN DE FINOS EN EL ENTORNO DEL EMBALSE DE SALTO GRANDE EN EL RÍO URUGUAY

S. Mangini, H. Prendes, J. Huespe, M. Amsler

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral  
Ciudad Universitaria, (3000) Santa Fe, Argentina  
silvinamangini@yahoo.com.ar

I. Piedra Cueva

Instituto de Mecánica de Fluidos y Ingeniería Ambiental  
Universidad de la República, Riessig y Herrera, Montevideo, Uruguay

**Resumen:** La Universidad Nacional del Litoral (Santa Fe, Argentina) y la Universidad de la República (Montevideo, Uruguay), realizaron mediciones y estudios relacionados con un control de la sedimentación en el embalse de Salto Grande, sobre el Río Uruguay. El trabajo cumplió con el doble propósito de: por una parte, atender un servicio técnico; y por otra, obtener información imprescindible para el desarrollo de proyectos de investigación y de una tesis de doctorado, sobre sedimentación de limos y arcillas en ambientes fluviales. En el presente artículo se describen resumidamente los estudios realizados, se analizan los resultados obtenidos y presenta la morfología y dinámica muy particular de los depósitos acumulados en determinados sectores localizados del antiguo cauce, dentro del embalse. Además, se aportan conclusiones preliminares sobre mecanismos de sedimentación por floculación, como así también sobre procesos de resuspensión y desplazamiento de sedimentos, observados dentro del mismo lago.

## INTRODUCCIÓN

La Comisión Técnica Mixta de Salto Grande suscribió un convenio con La Universidad Nacional del Litoral (Santa Fe, Argentina) y la Universidad de la República (Montevideo, Uruguay), para que a través de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH-UNL) y el Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA-UR) se realicen mediciones y estudios relacionados con un control de la sedimentación en el embalse de Salto Grande (Figura 1). El presente artículo resume los trabajos realizados como así también los resultados y conclusiones obtenidas, en relación a aportes para el desarrollo de tareas de investigación sobre sedimentación de limos y arcillas en ambientes fluviales.

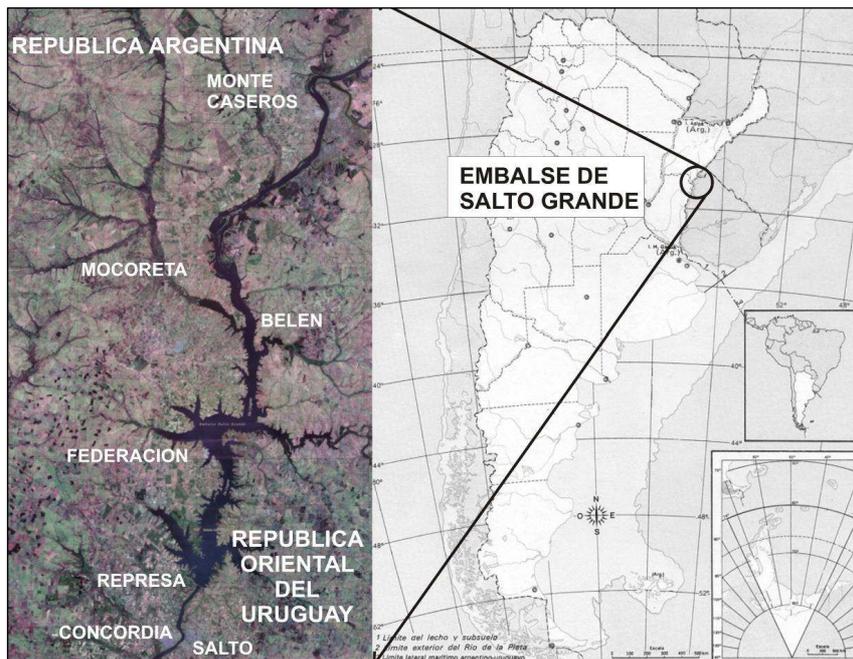
## TAREAS REALIZADAS

Consistieron en mediciones de campo (tres campañas), análisis de laboratorio y tareas de gabinete. La primera campaña se realizó los días

6, 14 y 15 de septiembre de 2004, y su objetivo fue el relevamiento batimétrico detallado del embalse. Como resultado destacado de los estudios de esta primera campaña quedaron evidenciadas las zonas de mayores depósitos de sedimentos finos.

La segunda campaña se realizó los días 25 y 26 de Mayo de 2005, y tuvo como objetivo la realización de mediciones de distribuciones de caudales y perfiles de velocidades, determinación de líneas de corriente, y toma de muestras de sedimentos en suspensión y de fondo. En dicha oportunidad se producía una creciente cuyo caudal medio fue de aproximadamente  $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La tercera campaña se realizó el día 24 de junio de 2005, y tuvo por finalidad complementar mediciones hidrodinámicas y sedimentológicas más detalladas en una zona localizada donde se ubicaron los mayores depósitos más recientes. En ese momento el caudal medio que escurría por el embalse se estimó en aproximadamente  $20.000 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Figura 1.** Ubicación de la zona de estudio



**Figura 2.** Equipamiento utilizado. Sonda ecoica, embarcación, ADP y captador de sedimentos en suspensión

La embarcación con la que se realizaron las mediciones (Figura 2), estaba equipada con Perfilador Acústico Doppler (ADP), captadores de sedimentos en suspensión y de fondo, y sonda ecoica de registro continuo, acoplada a un Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS).

### Relevamientos batimétricos

Los mismos permitieron individualizar la zona del embalse con los mayores depósitos de sedimentos finos (Figura 3). Ese lugar se extiende desde aguas abajo de la desembocadura del Arroyo Mocoretá (Km. 421 aproximadamente), hasta cercanías de la ciudad de Nueva Federa-

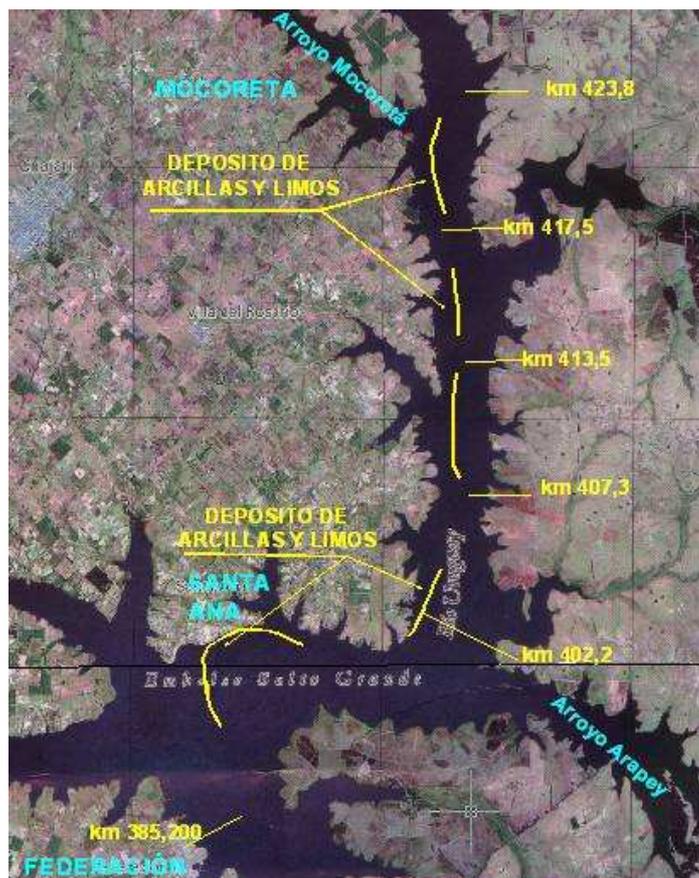


Figura 3. Zona de depósitos de finos

ción (Km. 385).

Se realizaron batimetrías de perfiles longitudinales y transversales, estos últimos ubicados aproximadamente cada 500 m. En total se registraron más de 60 perfiles cubriendo todo el ancho del embalse, con un recorrido total de aproximadamente 360 km.

### Mediciones de velocidades

Durante la segunda campaña se realizaron mediciones de distribuciones de velocidades, aforos con ADP y perfiles de velocidades en verticales ubicadas sobre puntos representativos. Durante la tercera campaña se realizaron mediciones de perfiles de velocidades en 5 verticales, ubicadas en forma más detallada sobre el último depósito de sedimentos, considerado como el más activo en ese momento.

Los perfiles de velocidades medidos en la segunda campaña se obtuvieron en 13 verticales (V2 a V14), complementados con 9 aforos. En ambos casos se utilizó el ADP, programado para recolectar información en integraciones cada 10 segundos. Para la obtención del perfil de veloci-

dades en cada vertical de medición la embarcación se encontraba anclada en el lugar. Las dimensiones y cantidades de celdas de integración se adoptaron teniendo en cuenta las profundidades máximas totales esperadas en cada vertical y sección de aforo.

Todos los perfiles de velocidades se midieron utilizando el ADP en modo estático (embarcación mantenida inmóvil en la vertical de medición). Los perfiles de velocidades de la tercera campaña (V17 a V21), se efectuaron con mayor grado de detalles.

### Extracción de muestras de sedimento

Las muestras de sedimentos en suspensión se extrajeron en 3 puntos de la columna de agua de profundidad  $h$ , (superficie,  $0.5h$  y fondo) de las 13 verticales (V2 a V14), de la segunda campaña; y en 5 puntos (sup.,  $0.2h$ ,  $0.4h$ ,  $0.6h$  y  $0.8h$ ) de las 5 verticales (V17 a V21), de la tercera campaña. Las muestras de sedimento de fondo, se captaron en las mismas verticales que las de sedimentos en suspensión.

### Análisis de laboratorio

Los análisis de las muestras de sedimentos en suspensión y de fondo se realizaron en el Laboratorio de Sedimentología de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la UNL. Se determinaron:

- Concentraciones de sólidos disueltos.
- Concentraciones totales de sedimentos en suspensión.
- Granulometría del sedimento en suspensión.
- Concentraciones fraccionadas por tamaños de sedimentos en suspensión.
- Granulometría de material de fondo.
- Mineralogía de muestras de suspensión y fondo.

### Tareas de gabinete

A partir del procesamiento de la información batimétrica se elaboraron planos con la planialtimetría detallada del embalse en la zona de interés. El resultado se comparó con un plano antiguo disponible, previo a la construcción de la represa. En base a la comparación de relevamientos se confeccionó un plano diferencia con isolíneas de sedimentación. Esto permitió obtener una clara definición de la morfología de los depósitos. En base a la planialtimetría de los depósitos se realizaron cálculos para cubicar, por separado, cada uno de los diferentes sectores individualizados.

Se procesaron los archivos de datos obtenidos del ADP y se confeccionaron gráficos con distribuciones de velocidades en las diferentes secciones relevadas. Las mediciones de velocidades y extracciones y análisis de muestras de sedimentos en suspensión, en verticales ubicadas sobre una trayectoria longitudinal del embalse, permitieron confeccionar un perfil hidrosedimentológico en la zona de mayores depósitos.

Con toda esta información se elaboró un plano comparativo en escala 1:20.000 (Figura 4). En esta misma cartografía se han trazado los márgenes del embalse, extraídas de imágenes satelitales georreferenciadas.

---

## RESULTADOS OBTENIDOS

---

### Ubicación y magnitud de los depósitos

Las curvas de nivel permitieron interpretar la

planialtimetría actual del lecho del embalse luego de aproximadamente 25 años de funcionamiento. En general se observa la importante diferencia de niveles entre el antiguo cauce y su valle de inundación, no obstante, hay zonas en las cuales estas diferencias no son tan marcadas. En un sector ubicado entre Santa Ana y Nueva Federación, prácticamente la posición del cauce ha quedado "borrada" y al mismo nivel que la topografía del valle. Esto es consecuencia de los potentes depósitos localizados de material fino dentro del lago en ese sitio.

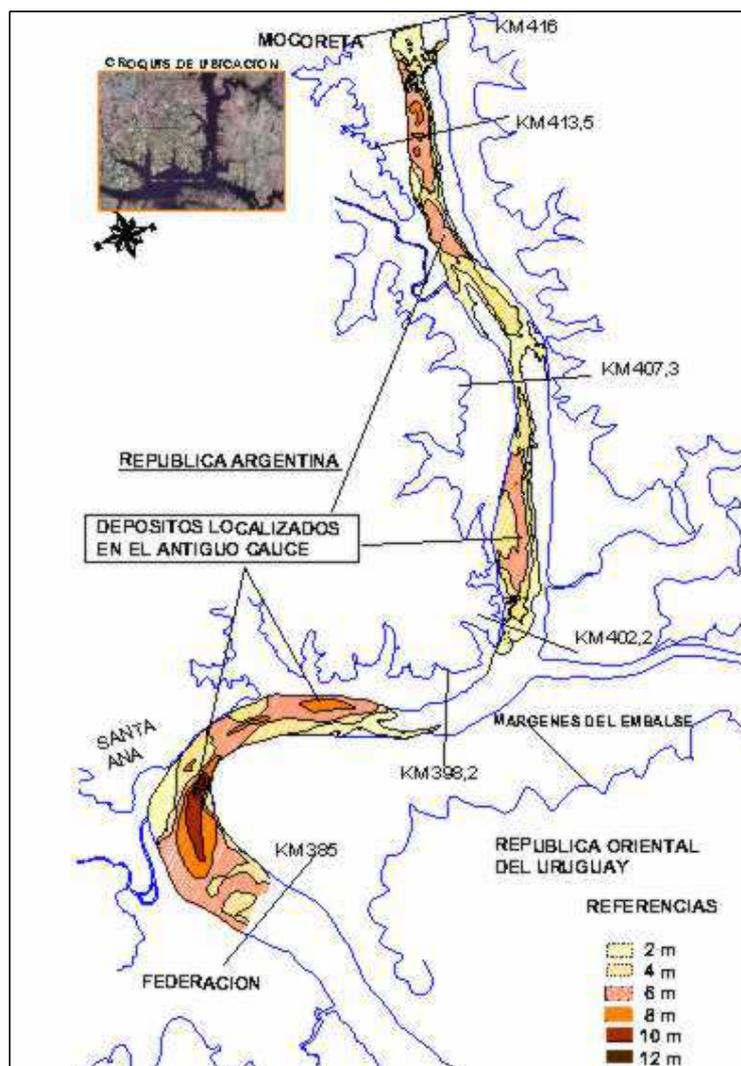
En la Figura 4 se observa que la posición y espesores de los depósitos son altamente variables, no solo entre cauce y valle, sino además dentro del mismo cauce. Se advierte una gran variación de espesores de los depósitos en sentido transversal al cauce. En ciertos lugares, mientras sobre una margen prácticamente no se distinguen sedimentaciones (menos de 1m), sobre la otra se observan espesores mayores a los 8 metros.

Es posible individualizar tres grandes sectores de depósitos, todos dentro del antiguo cauce: el primero de ellos ubicado entre las progresivas Km. 416 y Km. 407, el segundo a partir de esta progresiva y hasta aproximadamente el Km. 401 (desembocadura del Río Arapey), y el tercero desde la progresiva km 397 (aguas debajo de Santa Ana) hasta aproximadamente Km. 388 (Federación).

Las dimensiones aproximadas en planta y espesores máximos de estos depósitos se presentan en la Tabla 1. Cabe aclarar que lo que se denomina "pico" en los depósitos, son en realidad sectores de reducidas dimensiones en planta, variables entre 3 y 6 hectáreas).

El primero de los depósitos se desarrolla notoriamente recostado sobre la margen derecha del cauce en la zona de aguas arriba; los espesores son gradualmente crecientes hasta valores superiores a los 8 metros. Hacia aguas abajo, este depósito tiende a ampliar su base a todo el ancho del cauce y desarrollar la zona de mayor espesor (poco más de 4 m) hacia la margen izquierda del cauce, notándose un suave cruce de márgenes por el eje que une la zona de mayores espesores.

El segundo sector de depósitos se desarrolla en su totalidad sobre la margen derecha del cauce, y presenta una sola zona muy localizada de mayor espesor, levemente superior a los 8 metros, ubicada al inicio del mismo. Más hacia aguas abajo se observa una zona con potencias máximas de 6 m que llega a cubrir aproximadamente el 70 % de la sección del antiguo cauce.



**Figura 4.** Ubicación y forma de los depósitos de finos

Sector	Longitud	Ancho	Picos	Espesor (max)
1	9 km	500 m	Dos	8m y 8m
2	6 km	800 m	Uno	8 m
3	8 km	1200 m	Tres	9m, 8m y 12m
Sector	Longitud	Ancho	Picos	Espesor (max)
1	9 km	500 m	Dos	8m y 8m
2	6 km	800 m	Uno	8 m
3	8 km	1200 m	Tres	9m, 8m y 12m

**Tabla 1.** Dimensiones y espesores de los depósitos

El último de los depósitos se inicia sobre la margen derecha, pero hacia aguas abajo llega a cubrir todo el ancho del antiguo cauce. Presenta tres picos: el primero ubicado sobre la margen derecha, el segundo en el centro del cauce

y el tercero recostado en la margen izquierda. Los dos primeros tienen espesores similares a los máximos hallados en los dos sectores anteriormente descritos (aproximadamente 8 a 9 m); el último es el mayor de todos y en la zona más

potente (aproximadamente 6 hectáreas de extensión) supera los 12 metros de espesor.

Se cubicaron los sedimentos acumulados en cada uno de estos sectores. En la Tabla 2 se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

Sector	Ubicación	Area (Ha)	Volumen) (Hm <sup>3</sup> )
Depósito 1	Km 415 - 407	823	30
Depósito 2	Km 407 - 400	598	22
Depósito 3	Km 398 - 386	1124	65
Totales	27 Km	2545	117

**Tabla 2.** Ubicación y volumen de los depósitos

Siendo el volumen total del embalse de 5500 hm<sup>3</sup>, el volumen de depósitos de finos calculado, 117 hm<sup>3</sup>, representa una disminución del volumen del embalse del 2,13% en los 20 años de emplazamiento de la presa. Esto representa una tasa de depositación anual media del 0,11%.

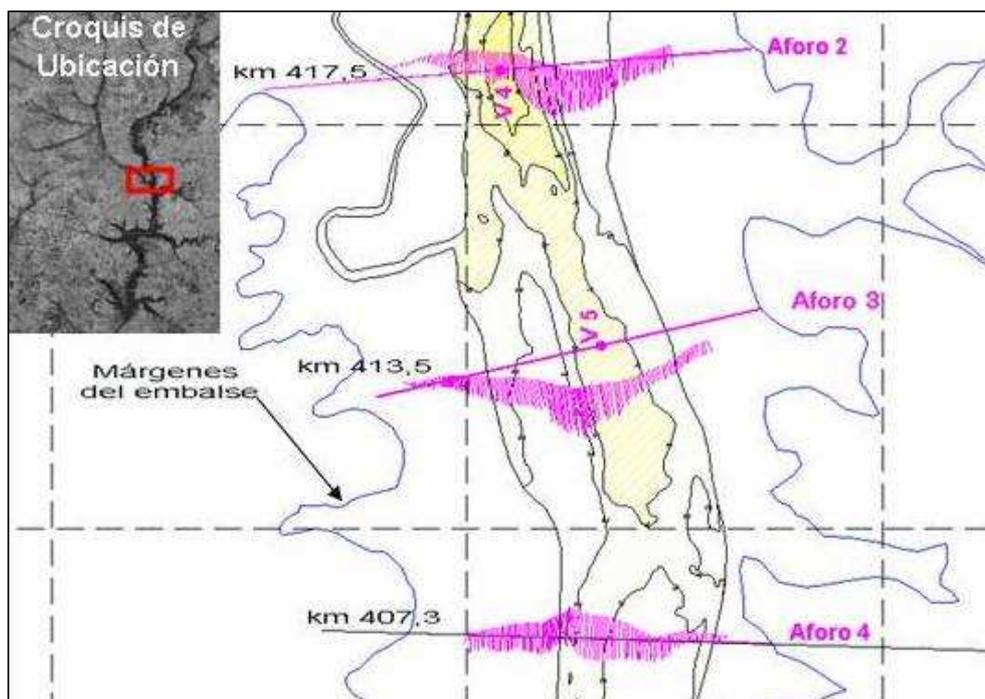
### Aforos líquidos

El objetivo de los aforos líquidos fue estimar las distribuciones de velocidades en secciones transversales, que permitan conocer la hidrodinámica del embalse y eventual comportamien-

to diferencial entre el antiguo cauce y la planicie de inundación. Por este motivo las secciones de aforo se trazaron intentando cubrir todo el ancho del cauce y las partes del valle en contacto con el mismo, sobre ambas márgenes.

En la Figura 5, se presentan los resultados de los aforos 2, 3 y 4. El aforo 2 y 3 corresponden al centro del primer sector de depósitos. La Figura evidencia en ambos un flujo de altas velocidades concentrado en la zona del cauce en correspondencia con prácticamente nulas tasas de sedimentaciones. A su vez, hacia el lado de contacto con el depósito se observan fuertes gradientes de velocidades, en correspondencia con los altos gradientes de espesores de depósitos.

El aforo 4 se efectuó en una sección que prácticamente no presenta depósitos. La distribución de velocidades es muy variable, con caudales muy bajos en correspondencia con una zona profunda recostada sobre margen izquierda, donde las velocidades medias en el cauce son inferiores a 50 cm/seg y profundidades entre 10 y 15 metros. En esta zona las tensiones de corte fueron muy bajas, sin embargo, a diferencia de lo explicado en relación con el aforo 2, no se registran depósitos. Un ejemplo de la salida de datos obtenidas con ADP a través de pantalla para el aforo 4 se presenta en la Figura 6.



**Figura 5.** Sección de aforo 2, 3 y 4 en primer sector de depósitos

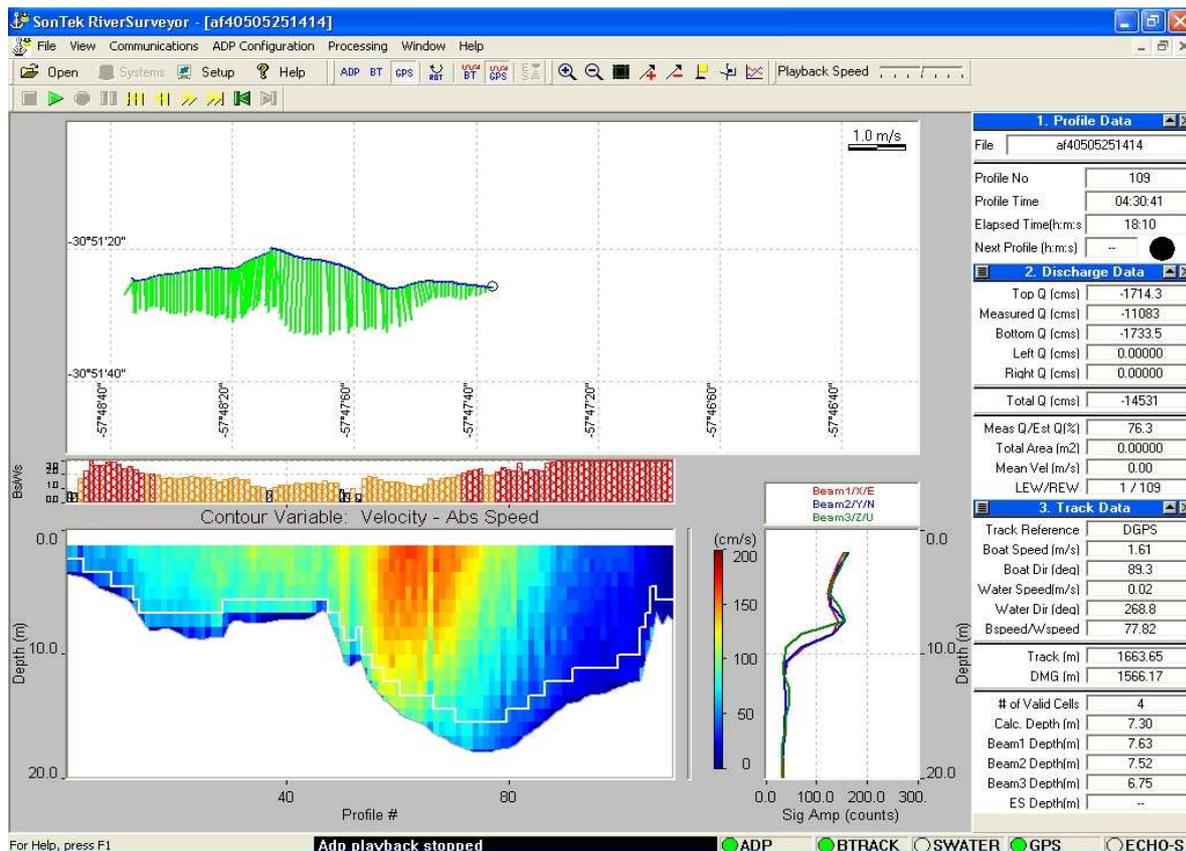


Figura 6. Salida de pantalla ADP. Aforo 4

	% contenidos de cada fracción																
Vertical	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V17	V18	V19	V20	V21
Limos medios (>15 micrones )	40	41	33	49	37	26	29	22	19	22	27	32	28	31	9	18	19
Limos finos (15 - 4 micrones)	16	15	16	14	18	19	19	18	18	18	17	17	17	21	19	21	20
Arcillas ( 4 - 2 micrones )	7	7	9	6	9	10	10	9	14	11	9	8	8	11	15	15	15
Arcillas ( < 2 micrones )	37	37	42	31	36	45	42	51	49	48	47	43	47	37	57	46	47

Tabla 3. Evolución de la granulometría de los depósitos de material fino

**Granulometría del sedimento transportado en suspensión y del sedimento del lecho**

El material de fondo resultó en promedio compuesto en un 72 % por partículas más finas que 15 micrones y en un 43 % por tamaños menores que 2 micrones. El material transportado en suspensión que ingresó a la zona de depósitos se compone en un 75 % en promedio por partículas más finas que 15 micrones y en un 40 % más finas que 2 micrones. Estos porcentajes incrementan hacia aguas abajo (vertical 21) alcanzando valores de 90 % y 70 % respectivamente.

El sedimento del río Uruguay que se ha depositado en esta zona se compone mayoritariamente por limos finos y arcillas. Estos son los tamaños de partículas que más participan del fenómeno de floculación para sedimentar, (Mangini y otros 2000). La Tabla 3 muestra la evolución de la granulometría del lecho en el sector de depósitos de finos (entre Santa Ana y Nueva Federación), en 19 verticales ubicadas a lo largo de dicho tramo, comenzando con la vertical denominada V2 ubicada al inicio del primer depósito hasta la vertical denominada V21 ubicada al final del tercer depósito (Figura 4).

### Características hidrodinámicas e hidro-sedimentológicas de los depósitos de finos

Los valores de velocidad media, profundidad, concentración media en la columna de agua y tensión de corte del lecho, en cada una de las verticales muestreadas a lo largo del tramo de estudio presentado en la Figura 3 (zona de depósitos de finos) son presentados en la Tabla 4.

Como muestra la Tabla 4, las velocidades medias resultaron comprendidas en el rango de valores de 0,35 - 1,19 m/s, registrándose las menores velocidades, 0,55 m/s - 0,35 m/s, en las verticales V10, V12 y V14, las cuales se ubican en el último depósito de finos, considerado como el más reciente y de mayor espesor. En la vertical V11, también ubicada en este último depósito, se registra un aumento de la velocidad, que se corresponde con una disminución de la profundidad en ese mismo lugar.

Con los datos obtenidos entre las verticales V2 y V14 (ubicadas sobre el eje del antiguo cauce),

se elaboró un perfil hidrosedimentológico que se muestra en la Figura 7. Se puede observar el perfil longitudinal del lecho antes de la construcción de la presa en la zona de mayores depósitos, el lecho actual, la ubicación de las verticales muestreadas y los perfiles de concentraciones en cada vertical, constituidos por datos de concentración en superficie, a 0.5 h y en proximidades del fondo.

Los diferentes perfiles de concentraciones no muestran grandes cambios en la mitad superior, pero, sí en la mitad inferior. Se observan fuertes variaciones denotando zonas de resuspensión y sedimentación a lo largo del embalse, en el sentido longitudinal. De la Figura 7 y la Tabla 4, se deduce claramente y en correspondencia con las velocidades medidas, que en las verticales V2, V3, V6, V7, V9 y V11, se produce para ese estado del río una resuspensión del sedimento del lecho, evidenciado por un aumento de concentraciones en profundidad.

	Vel. Media (m/s)	Profundidad (m)	Conc. Media (mg/l)	Tb (N/m <sup>2</sup> )
v2 (km 414,1)	0,75	7	297	1,176
v3 (km 412,4)	1,19	8	282	2,832
v4 (km 411,0)	0,74	11,5	140	0,970
v5 (km 409,2)	1	13	128	1,701
v6 (km 405,9)	1	11	253	1,799
v7 (km 404,9)	0,7	7,5	312	1,001
v8 (km 402,6)	0,76	10	96	1,072
v9 (km 396)	0,67	9,5	219	0,848
v10 (km 394,2)	0,35	12	130	0,214
v11 (km 391,7)	0,77	6,5	340	1,271
v12 (km 390,3)	0,55	7,7	157	0,613
v14 (km 387,2)	0,35	16,5	66	0,192

Tabla 4. Resumen hidrosedimentológico del tramo con depósitos de finos

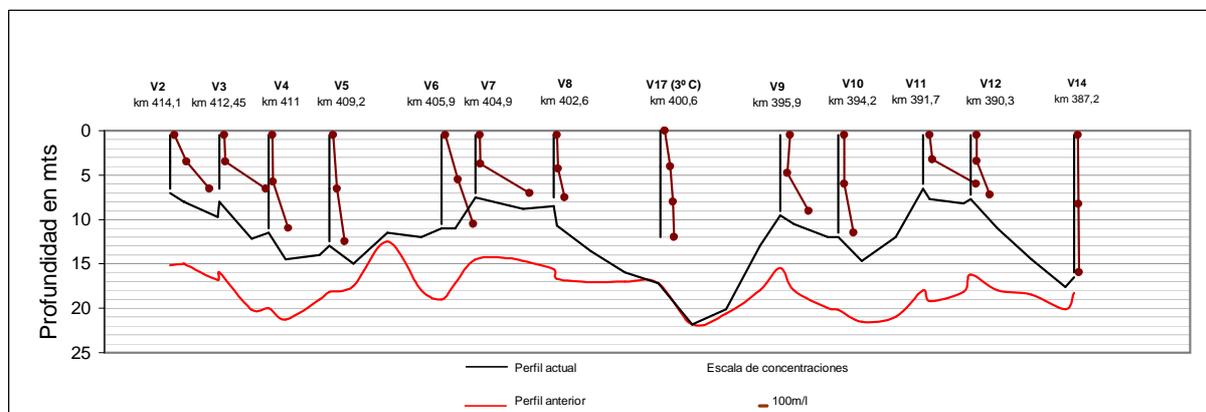


Figura 7. Perfil Hidrosedimentológico en la zona depósitos de finos. Estado de aguas altas.  
 $Q = 15000 \text{ m}^3/\text{s}$

En las verticales siguientes a aquellas donde se observa resuspensión del sedimento del fondo, las concentraciones disminuyen respecto de las anteriores. De esto último, resultan perfiles más homogéneos, con gradientes muy reducidos en toda la columna de agua. Lo descrito marca un proceso de sedimentación de finos intenso y localizado en cada uno de los depósitos individualizados (Figura 7).

### Características mineralógicas del sedimento fino depositado en el lecho

La Tabla 5 muestra la mineralogía de las arcillas del material que compone el fondo en dos puntos ubicados sobre depósitos de finos (V8 y V14), destacándose el gran contenido de montmorillonita, mineral de arcilla con mayor superficie específica y CEC, características que la clasifican como la más activa para la formación de agregados (Mantz, 1983; Winterwerp y otros,

2003).

La mineralogía de las arcillas que se depositan en el fondo, para el caso del río Paraná, contienen en promedio un 40 % de illita y un 33 % de montmorillonita (Mangini y otros, 2000), en tanto que las del río Uruguay, contienen un 77 % de montmorillonita y un 20 % de caolinita.

### Comportamiento hidrosedimentológico en el tercer depósito de finos

La tercera campaña de mediciones tuvo el objetivo de estudiar con más detalle el comportamiento hidrosedimentológico del tercer depósito, que resultó el de mayor volumen (Figura 8). Esta se realizó durante un período de aguas altas para captar mayor cantidad de sedimento en suspensión. Las cinco verticales de muestreo fueron denominadas V17, V18, V19, V20 y V21 y se ubicaron entre los perfiles de los km 402 y km 385 (zona Santa Ana y Nueva Federación).

Muestra	Esmectita	Caolinita	Interestratificados	Cuarzo
Vertical 8	68	27	5	Traza
Vertical 14	86	14	-	Traza

Tabla 5. Mineralogía del material del lecho

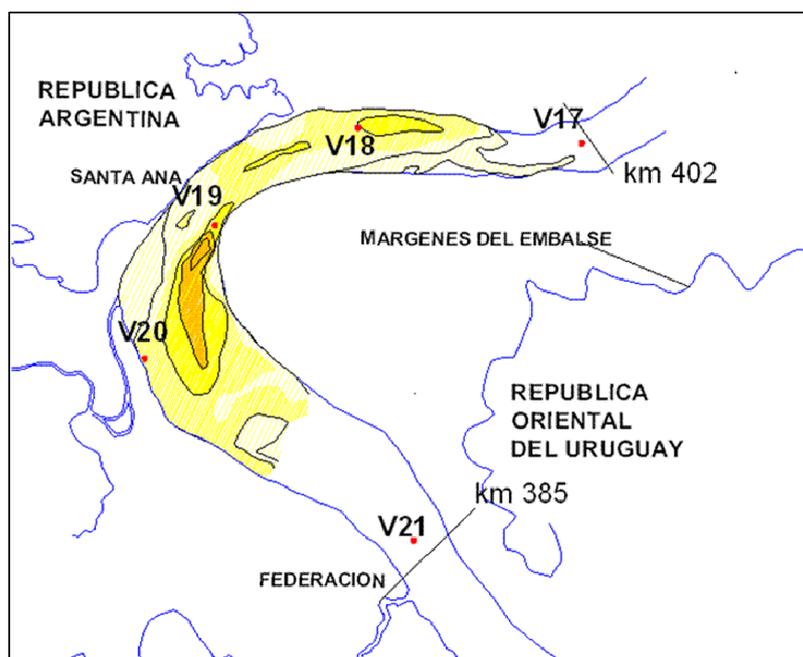
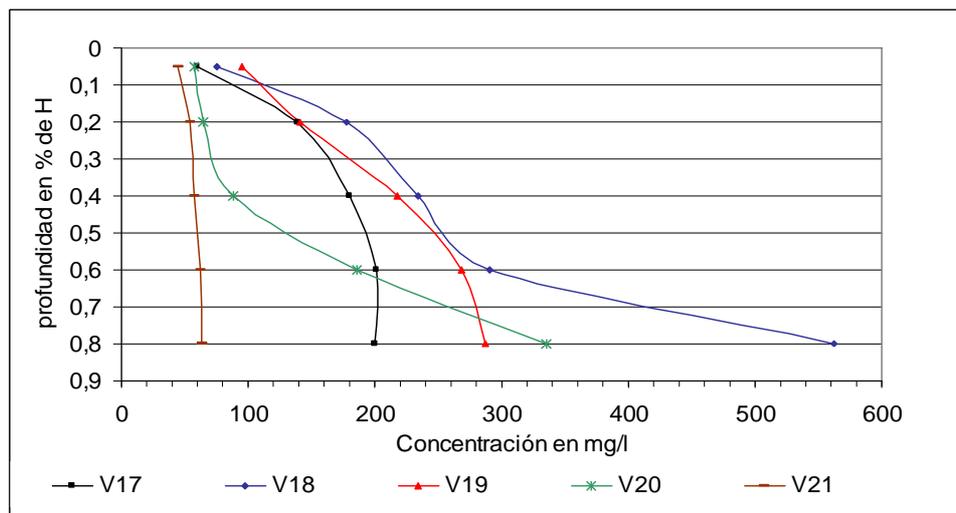


Figura 8. Zona de mayores depósitos muestreada en la última campaña de mediciones en detalle

	Vel. Media (m/s)	Profundidad (m)	Conc. Media mg/l	Tb N/m <sup>2</sup>
V17	1,37	20	145	2,766
V18	1,33	11,7	291	3,117
V19	0,72	6,5	202	1,111
V20	0,92	7,8	146	1,707
V21	0,78	18,4	57	0,922

**Tabla 6.** Resumen hidrosedimentológico del tercer depósito



**Figura 9.** Perfiles de concentración verticales muestreadas en el tercer depósito

En la Tabla 6, se presentan las características hidrosedimentológicas de cada vertical muestreada, las cuales se denominaron V17, V18, V19, V20 y V21. En la misma se observa claramente un aumento de la concentración media en suspensión en la vertical 18 respecto de la vertical 17 (ubicada aguas arriba de la zona del depósito de finos). Este incremento en la concentración media es producto de la resuspensión del material del lecho entre las verticales 17 y 18. El mismo se correlaciona con un aumento de la tensión de corte del lecho.

Se observa una progresiva disminución de la concentración media del 50 % entre las verticales 18 y 20. Entre la vertical 20 y 21 se obtiene una disminución del 66 % en la concentración media. Estos valores son coherentes con las velocidades y profundidades medidas en estas verticales, las que generan disminuciones de las tensiones de corte del lecho. La escasa distancia (3500m) entre los perfiles 18 y 20, y la marcada reducción de concentraciones de sedimentos en suspensión entre ellas, al igual que lo observado entre las verticales 20 y 21, hacen presumir, con gran similitud a lo observado en ambientes fluviales del

Río Paraná (Mangini y otros, 2003), que la sedimentación de estas partículas tan finas se realiza a través del fenómeno de floculación, de manera rápida, intensa y localizada.

En la Figura 9 se observan los perfiles de concentración de cada vertical muestreada (V17 a V21).

El sedimento ingresa al tercer depósito con un perfil como el registrado en la vertical V17, un marcado incremento se produce en toda la columna de agua en la vertical 18 (resuspensión del material del lecho) y luego se observa una progresiva disminución hacia la vertical 21, en la cual se registra un perfil homogéneo, con bajas concentraciones, alcanzando valores de equilibrio. Se observa una lógica correspondencia entre la disminución de concentración en suspensión y la disminución de la tensión de corte del lecho.

Los valores de las tensiones de corte donde se registra sedimentación de finos, si bien se encuentran dentro de un rango superior al crítico obtenido en ambientes fluviales del Río Paraná, concuerdan con resultados de experimentos realizados por varios investigadores en laboratorio

(Krone, 1962; Mantz, 1983; Metah, 1984). Se puede plantear, a nivel de hipótesis, que estos valores de tensión de corte crítica, comprendidos entre 1 y 2 N/m<sup>2</sup>, expresan un nivel de turbulencia del flujo a partir del cual se desencadena la agregación de partículas y su posterior sedimentación por floculación en el Río Uruguay.

## CONCLUSIONES

En estudios previos (Irigoyen y otros, 1998), se determinaron altos porcentajes (variables entre 60 % y 80 %) de limos y arcillas retenidos en el interior del embalse de Salto Grande. En estudios posteriores (FICH-IMFIA, 2003) se midieron volúmenes importantes de sedimentos finos depositados en una zona localizada del embalse. El presente trabajo ratifica y complementa aquellos resultados, individualizando en detalle las zonas donde se ubican, y la morfología muy particular de estos depósitos de sedimentos finos.

En base a relevamientos comparativos se ha podido determinar que la depositación del material predominantemente fino se produce conformando "acumulaciones" de espesores importantes ubicadas en sectores localizados del ex cauce principal del río, en el tramo comprendido entre Mocoetá y Nueva Federación.

Es posible que durante los estados de estiajes y caudales medios del Río Uruguay, los sedimentos finos que ingresan al embalse se depositen en las zonas de aguas arriba, próximas a Mocoetá. Durante los periodos de crecientes (como los ocurridos durante las mediciones) los sedimentos finos que ingresan al embalse, junto con los resuspendidos provenientes de depósitos anteriores, son transportados y depositados en sectores ubicados más aguas abajo (proximidades de Santa Ana o Nueva Federación). Además de esta mecánica, influenciada por los diferentes caudales que ingresan al embalse, se superpone un lógico crecimiento, a través del tiempo, de estos depósitos hacia aguas abajo.

Los espesores de los depósitos son variables en el sentido longitudinal del río pero con gradientes relativamente suaves, del orden del 1 % y menores. Resulta llamativo que, en el antiguo cauce dentro del embalse, en el sentido transversal se observen fuertes gradientes de espesores, de hasta un 5 %, especialmente en los dos primeros depósitos descriptos.

Desde que se realizaron los primeros estudios sobre la sedimentación esperada de este embalse (fines de la década del 60) hasta la fecha, los resultados obtenidos aumentaron casi 6 veces. Más allá de que mejoras en las metodologías, datos

disponibles, y tecnología de las mediciones hayan permitido ajustar las estimaciones iniciales de aquella época, es innegable que los intensos y crecientes planes de explotación agropecuaria en la cuenca serían las principales causas de estos grandes aumentos en los aportes de sedimentos del Río Uruguay. Si bien, a los efectos de la vida útil del embalse de Salto Grande, las tasas de depositaciones medias estimadas no significarían problemas, cabe prestar atención a eventuales procesos de impacto ambiental que pudieran producirse en estos sectores localizados y potentes de sedimentos muy finos acumulados en el lecho del antiguo cauce.

Considerando los grandes depósitos localizados de sedimento finos, el tamaño de las partículas que conforman los mismos, las profundidades en dichas zonas, y la hidrodinámica medida, se dispone de suficientes fundamentos para suponer que en el Río Uruguay, al igual que en el Río Paraná, la sedimentación de las partículas finas se produce mayoritariamente a través del fenómeno de floculación. Existe una concordancia en ambos ríos (Paraná y Uruguay) respecto a la forma localizada, masiva y rápida en que se desarrolla el proceso de sedimentación.

La prevalencia de montmorillonita (mineral más activo para formar agregados) y caolinita presentes en los sedimentos finos del Río Uruguay sugiere que los agregados formados serían más fuertes, en cuanto a la unión de sus partículas, y consecuentemente más resistentes respecto de los formados en el río Paraná. Por esta razón, los valores críticos de la tensión de corte del lecho para el inicio de sedimentación por floculación en el río Uruguay serían superiores a los hallados en ambientes fluviales del río Paraná, superando en algunos casos el valor crítico hallado por diferentes investigadores en ensayos de laboratorio (Krone, 1962; Mantz, 1983; Metah, 1984 entre otros).

La continuidad del estudio de depositación de finos en este embalse, tiene por objeto aportar mayores conocimientos sobre la formación de agregados, y explicar las razones de la morfología muy localizada y particular de los depósitos hallados.

## REFERENCIAS

- FICH - IMFIA, (2003). Estudios de Sedimentación en el Embalse de Salto Grande. Primera etapa. Convenio entre FICH (Universidad Nacional del Litoral), IMFIA (Universidad de la República) y la CTM de Salto Grande.

- FICH - IMFIA, (2005). Estudios de Sedimentación en el Embalse de Salto Grande. Segunda Etapa: Determinación localizada de depósitos. Convenio entre FICH (Universidad Nacional del Litoral), IMFIA (Universidad de la República del Uruguay) y la CTM de Salto Grande.
- Irigoyen M., Simonet D., Zamanillo E. y Prendes H., (1998). Análisis de la sedimentación en el embalse de Salto Grande. Tema: Geomorfología, erosión y sedimentación hídricas, Pg 376–385, Tomo 3, Anales del XVII Congreso Nacional del Agua y II Simposio de Recursos Hídricos del Conosur, Santa Fe.
- Krone R.B., (1962). Flume Studies on transport of sediment in Estuarine Shoaling Processes. Hydr. Eng. Laboratory, Univ. of Berkeley, California, USA.
- Mangini S., Huespe J., Piedra Cueva I., Prendes H. y Amsler M., (2005a). Sedimentación de la carga de lavado en ambientes fluviales de los ríos Paraná y Uruguay. XX Congreso Nacional del Agua y III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur, Mendoza, Argentina.
- Mangini S., Huespe J. y Prendes H., (2005b). Cálculo del recrecimiento del lecho por sedimentación de partículas finas en un puerto del río Paraná. XX Congreso Nacional del Agua y III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur, Mendoza, Argentina.
- Mangini S., Prendes H., Huespe J. y Amsler M., (2003). Importancia de la floculación en la sedimentación de la carga de lavado en ambientes del Río Paraná, Revista Ingeniería Hidráulica en México, Volumen XVIII, No. 3.
- Mangini S., Prendes H., Amsler M. y Huespe J., (2000). Sedimentación de limos y arcillas en ambientes del Río Paraná. Trabajo publicado en las memorias del XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Tomo I, pp. 339–348, Córdoba, Argentina.
- Mantz, P.A., (1983). Review of Laboratory Sediment Transport. Research using fine sediment. Proceedings of the Second International Symposium on River Sedimentation, Nanjing, China, pp. 544–555.
- Mehta A.J., (1984). Characterization of Cohesive Sediment Properties and Transport Processes in Estuaries. Estuarine Cohesive Dynamics, Edited by Mehta, Springer Verlag.
- Prendes H., Huespe J., Mangini S., Amsler M., Piedra Cueva I., Irigoyen M., Simonet D. y Zamanillo E., (2005a). Sedimentación de finos en el embalse de Salto Grande. Relevamiento de las zonas con mayores depósitos. VI Taller Internacional sobre Enfoques para el Desarrollo y Gestión de Embalses en la Cuenca del Plata, Salto Grande, Argentina-Uruguay.
- Prendes H., Mangini S., Huespe J., Amsler M., Piedra Cueva I., Irigoyen M., Simonet D. y Zamanillo E., (2005b). Estudios de Sedimentación en el Embalse de Salto Grande. Caracterización del Funcionamiento Hidrosedimentológico. VI Taller Internacional sobre Enfoques para el Desarrollo y Gestión de Embalses en la Cuenca del Plata, Salto Grande, Argentina-Uruguay.
- Winterwerp J.C. y van Kesteren W.G., (2003). Introduction to the Physics of Cohesive Sediment in the Marine Environment. Developments in Sedimentology 56, T. van Loon (ed.), Elsevier 2004, pp. 30–35.