

EVALUACION DE LA SEDIMENTACION EN EL CANAL DE ACCESO AL PUERTO DE CONCEPCION DEL URUGUAY

Lic. Julio C. Cardini*, Ing. Alejandro Zabalett, Ing. Daniel Mársico
Grupo de Estudio del Río Uruguay (GERU)
Universidad Tecnológica Nacional, Regional Concepción del Uruguay
*Director de Estudios de Serman & Asociados S.A.

RESUMEN

Como resultado de los estudios realizados por el Grupo de Estudio del Río Uruguay se han alcanzado objetivos de interés práctico para la navegación y el transporte de mercaderías a través del Puerto de Concepción del Uruguay. Se encuentra operativo un modelo hidrodinámico de red de canales para predecir los niveles hidrométricos, con una precisión adecuada tanto en aguas bajas (especialmente en los niveles mínimos que afectan el calado navegable) como en aguas altas (incluyendo crecidas extraordinarias). Se investigó en detalle la evolución de la sedimentación en el Canal de Acceso al Puerto de Concepción del Uruguay, implementándose un modelo sedimentológico unidimensional para predecir la magnitud de la misma ante la ocurrencia de crecidas. Se efectuó una evaluación de las tasas de sedimentación probables en este canal si la vía navegable se profundizara hasta un calado de 32 pies al cero local, compatible con las condiciones del Canal Martín García, salida natural de las embarcaciones en el Río de la Plata.

MODELACION HIDRODINAMICA Y PREDICCIÓN DE NIVELES DEL RIO URUGUAY

La modelación matemática hidrodinámica del Río Uruguay implementada por el Grupo GERU es una herramienta que permite conocer los niveles y caudales de agua conducidos por el río en cualquier momento con un grado de precisión suficiente como para ser utilizada a los efectos de predecir el calado navegable de la vía fluvial o para encarar la realización de estudios de sedimentación.

El Río Uruguay se caracteriza por la variabilidad de sus niveles, que pueden cambiar varios decímetros por día (especialmente para aguas bajas), debido a la influencia del viento sobre su superficie, las mareas meteorológicas en el Río de la Plata y las fluctuaciones de la descarga de la Central Hidroeléctrica Salto Grande.

La vía navegable posee una profundidad de diseño de 23 pies al cero (hasta Concepción del Uruguay), aunque en la actualidad no cuenta con un mantenimiento suficiente para asegurar esta condición. Cada pie de variación de la profundidad tiene una influencia significativa en las toneladas de carga que pueden transportarse. El conocimiento de la tendencia de la profundidad a 24 horas de plazo puede permitir una optimización de la operatoria que sería de utilidad para la Administración Portuaria, cuando la vía navegable se encuentre adecuadamente mantenida y balizada.

Para implementar el procedimiento de pronóstico se realizó en primer lugar la recopilación de los parámetros hidráulicos del río (secciones transversales de diferentes épocas incluyendo relevamientos propios, niveles en varias escalas y caudales en Salto Grande). Luego se implementó y calibró el modelo matemático hidrodinámico unidimensional MIKE-11 para el tramo del Río Uruguay entre Concordia y la Isla Martín García (en el Río de la Plata), considerando la influencia de los brazos del Río Paraná que aportan caudales laterales en el tramo terminal.

Las condiciones de borde son los datos de caudal erogado por la represa Salto Grande o datos de nivel aguas abajo de la misma en la escala de Concordia, los niveles del Río Paraná en Rosario y los niveles de marea aguas abajo, en la Isla Martín García; estos últimos generados a través de información de pronósticos elaborados por el Servicio de Hidrografía Naval. La velocidad y dirección del viento se miden con un anemógrafo instalado en el edificio de la UTN.

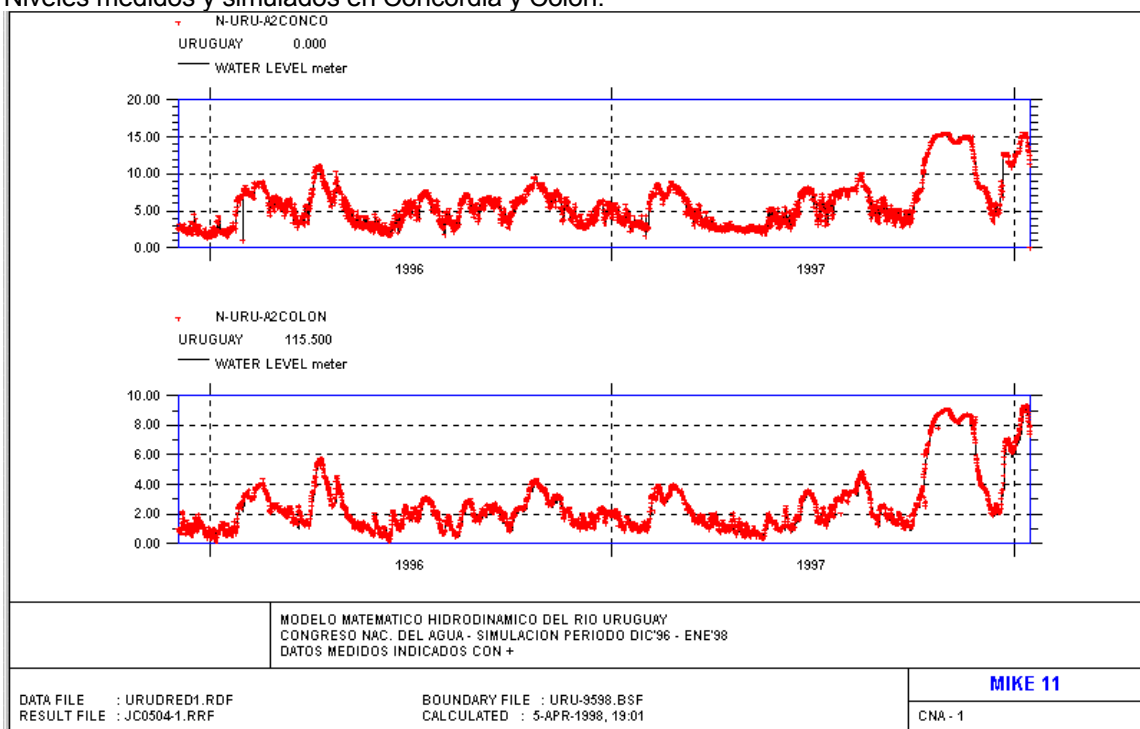
Con esta información se realiza una predicción de niveles en distintas escalas con unas 24 horas de anticipación, cuya precisión ha ido mejorando en el tiempo a medida que los operadores del modelo obtienen mayor experiencia en su aplicación. La precisión alcanzada actualmente en el pronóstico a 18 hs (desde las 18 de un día hasta las 12 del día siguiente) se puede apreciar en el Cuadro síntesis de diferencias entre los niveles (pronosticados - medidos) máximos y mínimos para aguas bajas (valores en metros):

Tipo de Parámetro	Concordia		Concepción Uruguay		Boca Gualeguaychú		Nueva Palmira		Martín García	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Promedio	0,34	-0,28	-0,03	-0,05	0,02	-0,05	0,04	-0,06	-0,18	-0,28
Desvío Standard	0,96	0,97	0,22	0,23	0,21	0,27	0,26	0,31	0,36	0,44

El alto desvío en Concordia se debe a la gran variabilidad horaria de la descarga de la Central en aguas bajas, mientras que el desvío en Martín García es causado por efectos meteorológicos en el Río de la Plata no previstos ajustadamente por el SHN. Los análisis efectuados muestran que la limitante para disminuir el desvío en la predicción es este efecto. La diferencia promedio negativa en Martín García (medido mayor que pronosticado) se corresponde con una tendencia del operador a subestimar el nivel para el día siguiente, dado que por razones de seguridad a la navegación se prefiere que los valores pronosticados sean levemente inferiores a los reales y no al revés.

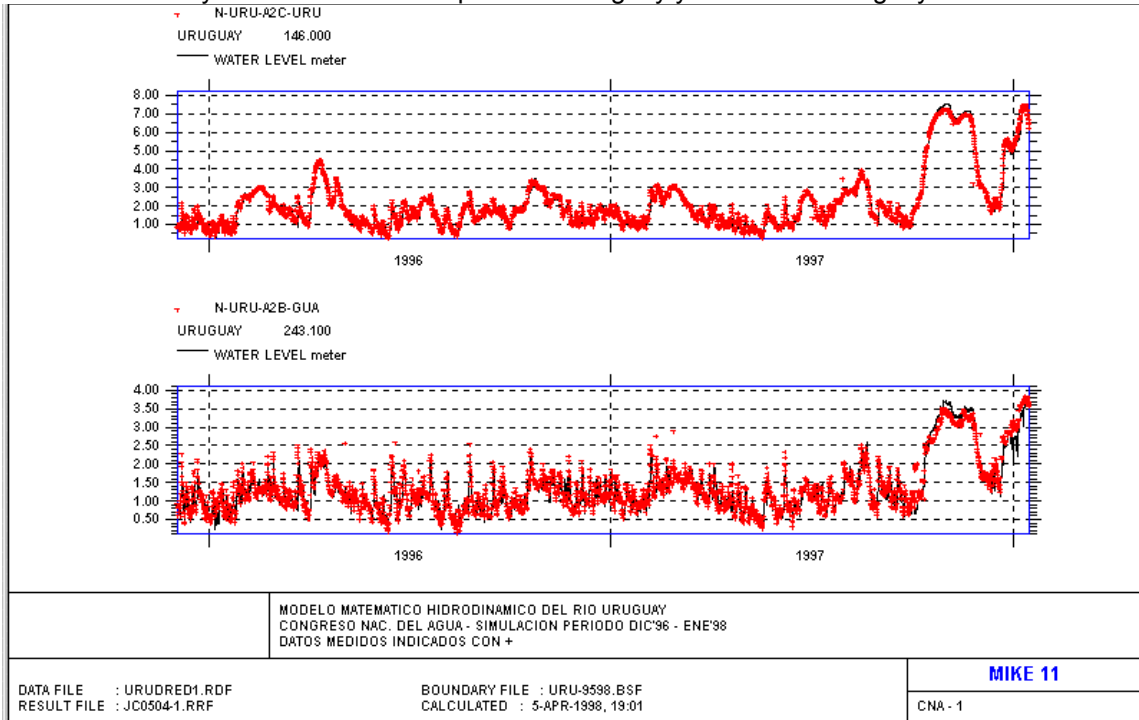
Un ejemplo de los resultados obtenidos mediante la modelación hidráulica desde el mes de Diciembre de 1995 hasta el mes de enero de 1998, incluyendo períodos de aguas bajas así como dos crecidas extraordinarias, se presentan en los siguientes gráficos, para las estaciones hidrométricas Concordia (CONCO - km 0), Colón (km 115,5), Concepción del Uruguay (km 146,0) y Boca de Gualeguaychú (km 243,1). En la escala de Gualeguaychú se aprecia que los picos de nivel de corta duración generados por el viento en aguas bajas no son representados fielmente por el modelo. Sin embargo, los niveles mínimos, de mayor importancia para la navegación, son adecuadamente simulados, pudiéndose apreciar que el grado de ajuste obtenido en general es muy bueno, tanto en estiajes como en crecidas.

Niveles medidos y simulados en Concordia y Colón.



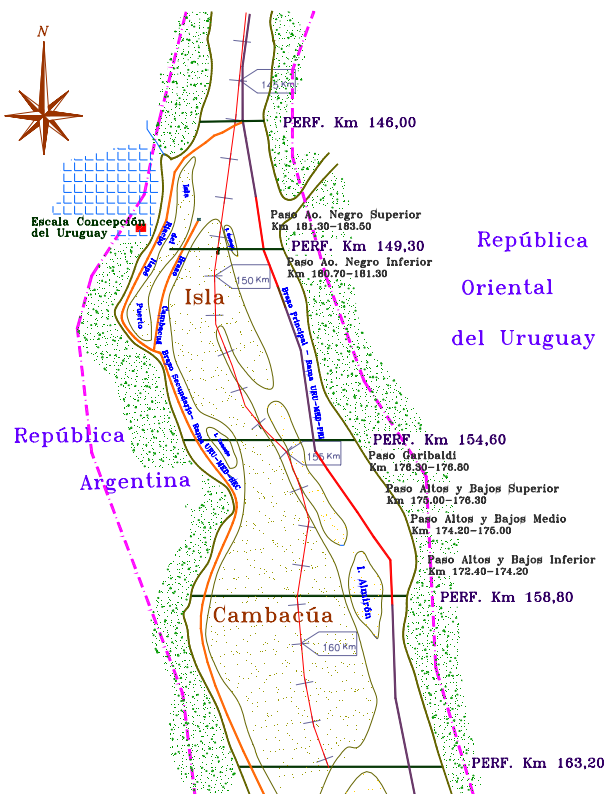
Las cruces corresponden a niveles medidos y la línea representa el resultado del modelo.

Niveles medidos y simulados en Concepción del Uruguay y Boca del Gualeguaychú.



ESQUEMATIZACION DEL MODELO MORFOLOGICO DE REDES DEL RIO URUGUAY

Para realizar el estudio del Canal de Acceso a Concepción del Uruguay se incorporó en el modelo matemático la rama del Riacho Itapé (donde se ubica el Puerto), a través de un relevamiento de secciones transversales realizado antes del primer pico de la crecida de 1997. El esquema de la zona cercana a Concepción del Uruguay se presenta en el siguiente gráfico.



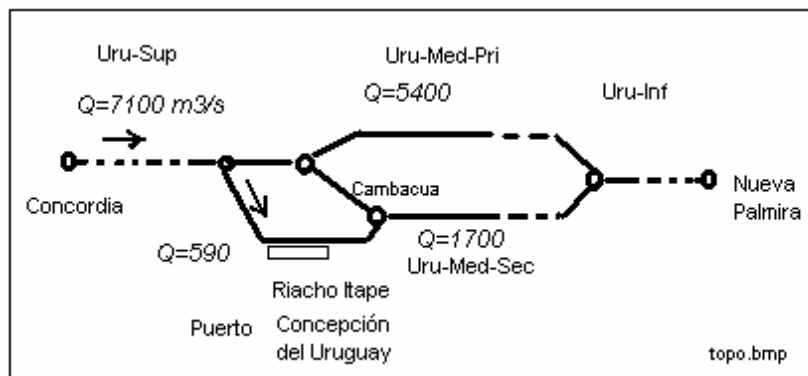
CALIBRACION HIDRODINAMICA DEL MODELO CON DATOS DE CORRIENTE MEDIDOS MEDIANTE CORRIDAS DE FLOTADORES

Se efectuaron corridas de flotadores en aguas medias y altas (durante la crecida de 1997) para obtener velocidades en el Canal de Acceso que permitieran calibrar el modelo matemático. A continuación se resumen los resultados obtenidos:

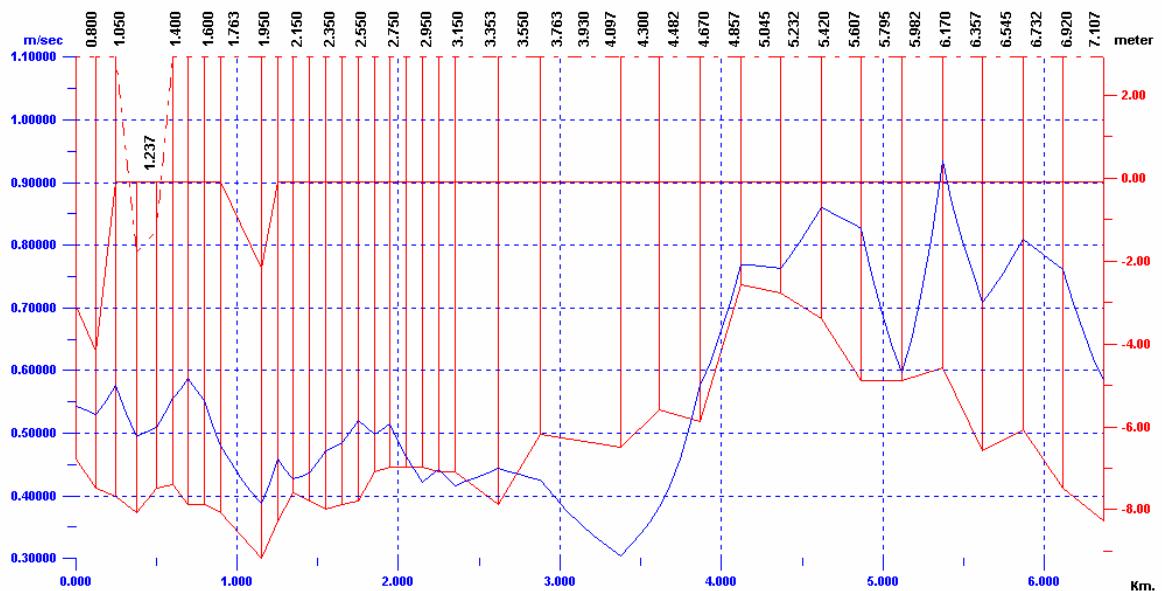
PERÍODO DE AGUAS MEDIAS:

Caudal cauce del Río Uruguay (tramo Superior desde Concordia):	7.100 m ³ /s
Caudal Riacho Itape (Canal de Acceso y Dársena Interior):	590 m ³ /s
Velocidad media en Canal de Acceso Interior:	Calculada: 0,55 m/s Medida: 0,50/0,55 m/s
Velocidad media en la Dársena Interior:	Calculada: 0,40/0,50 m/s Medida: 0,45/0,50 m/s
Nivel en escala Concepción del Uruguay	Calculado: 2,72 m Medido 2,64/2,70 m

ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES RESULTANTE EN LAS RAMAS DEL MODELO.



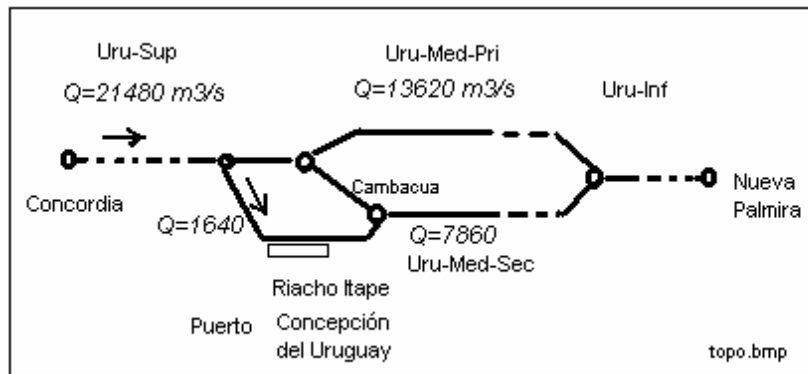
VELOCIDADES MEDIAS DE LA CORRIENTE EN EL RIACHO ITAPE



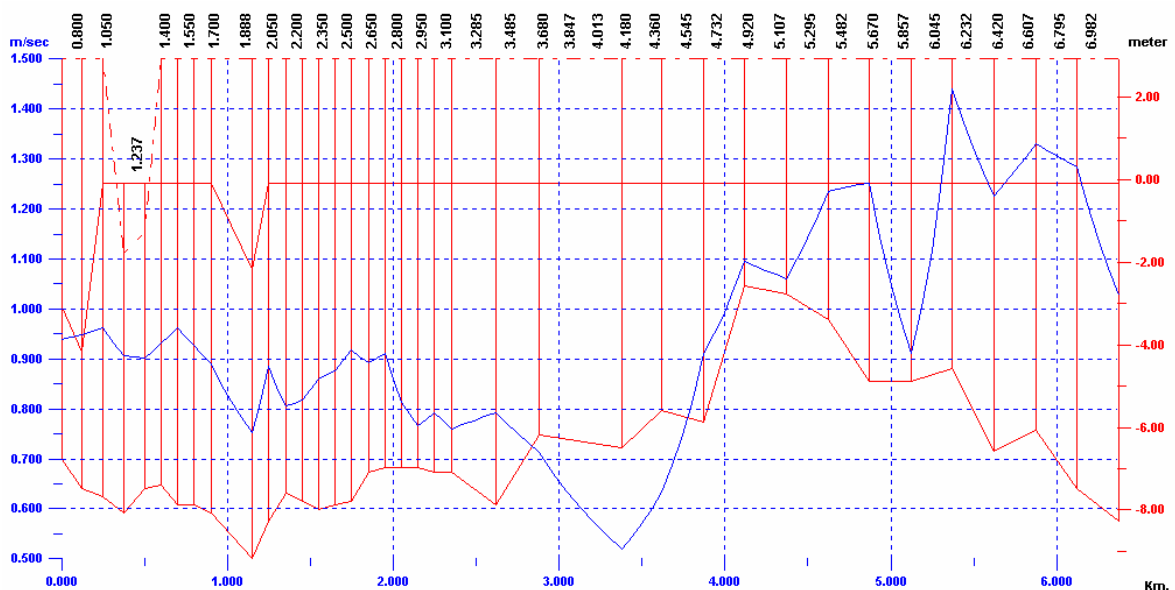
PERÍODO DE AGUAS ALTAS:

Caudal cauce del Río Uruguay (tramo Superior desde Concordia):	21.480 m ³ /s
Caudal Riacho Itapé:	1.640 m ³ /s
Velocidad media Canal de Acceso Interior	Calculada: 0,9/0,95 m/s Medida: 0,9/0,95 m/s
Velocidad media en la zona de la Dársena Interior	Calculada: 0,8/0,9 m/s
Nivel en escala Concepción del Uruguay	Calculado: 7,10 m Medido 7,03 m

ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES RESULTANTE EN LAS RAMAS DEL MODELO.



VELOCIDADES MEDIAS DE LA CORRIENTE EN EL RIACHO ITAPÉ.



ANÁLISIS EVOLUTIVO DEL CANAL DE ACCESO Y DARSENA PORTUARIA MEDIANTE EL PROCESAMIENTO DE INFORMACION BATIMÉTRICA

Se han utilizado los planos de relevamientos batimétricos del canal exterior, canal interior y dársena interior, efectuados mensualmente por la administración del puerto, para efectuar un exhaustivo análisis de la evolución morfológica del sector durante el período de dos años que media entre el 31/7/96 y el 30/6/98.

En este período se han alternado condiciones de estiaje (marzo/abril 1997), aguas medias y dos crecidas extraordinarias (octubre/noviembre 1997 y enero/abril 1998).

EVOLUCIÓN MORFOLÓGICA DEL CANAL DE ACCESO Y LA DÁRSENA PORTUARIA

Del análisis de batimetrías se concluyó que las tasas de sedimentación en condiciones de aguas medias/bajas no son muy importantes y pueden predecirse en forma aproximada para un período de tiempo más o menos prolongado.

La sedimentación se incrementa fuertemente en períodos de crecidas, los cuales son de gran interés para el análisis mediante el modelo matemático, a los efectos de tratar de predecir las tasas de sedimentación en distintas condiciones de nivel fluvial y de cota de fondo del canal.

Los siguientes cuadros ilustran el comportamiento del canal y la dársena portuaria en condiciones de aguas altas, de acuerdo a los análisis de relevamientos batimétricos.

EVOLUCIÓN DEL CANAL DE ACCESO INTERIOR DURANTE LAS CRECIDAS DE 1997/98

Fecha	Período	Días	Sedimentación Bruta (m ³)	Erosión (m ³)	Sedimentación Neta (Sedim. - Erosión)
02-10-97	2-10-97 a 1-12-97	60	60102	-158	59944
01-12-97	1-12-97 a 30-12-97	29	32026	0	32026
30-12-97	30-12-97 a 2-4-98	93	19005	-7789	11216
02-04-98	2-4-98 a 4-5-98	32	24935	-7001	17933
04-05-98	4-5-98 a 1-6-98	28	1337	-22984	-21647
01-06-98	-	242	137404	-37932	99472

SEDIMENTACIÓN NETA ACUMULADA EN EL CANAL A LO LARGO DEL TIEMPO Y ESPESOR MEDIO EQUIVALENTE DEL DEPÓSITO

Fecha Inicial	Período	Días	Sedimentación Volumen Neto (miles de m ³)	Espesor Medio Neto (m)
02-10-97	2-10-97 a 1-12-97	60	60	0,83
01-12-97	1-12-97 a 30-12-97	29	92	1,28
30-12-97	30-12-97 a 2-4-98	93	103	1,43
02-04-98	2-4-98 a 4-5-98	32	121	1,68
04-05-98	4-5-98 a 1-6-98	28	99	1,38

Se puede apreciar que se produce una importante sedimentación hasta principios de Mayo de 1998, mientras que en el mes siguiente se produce una erosión del orden de un pie.

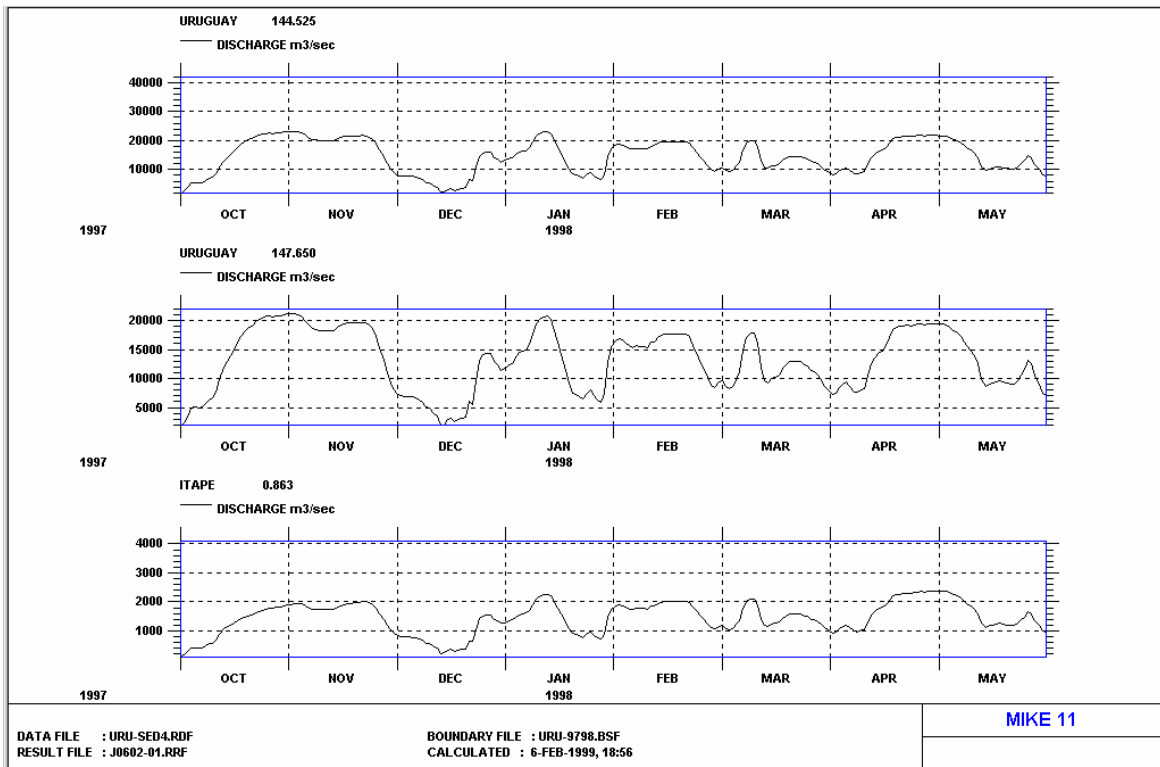
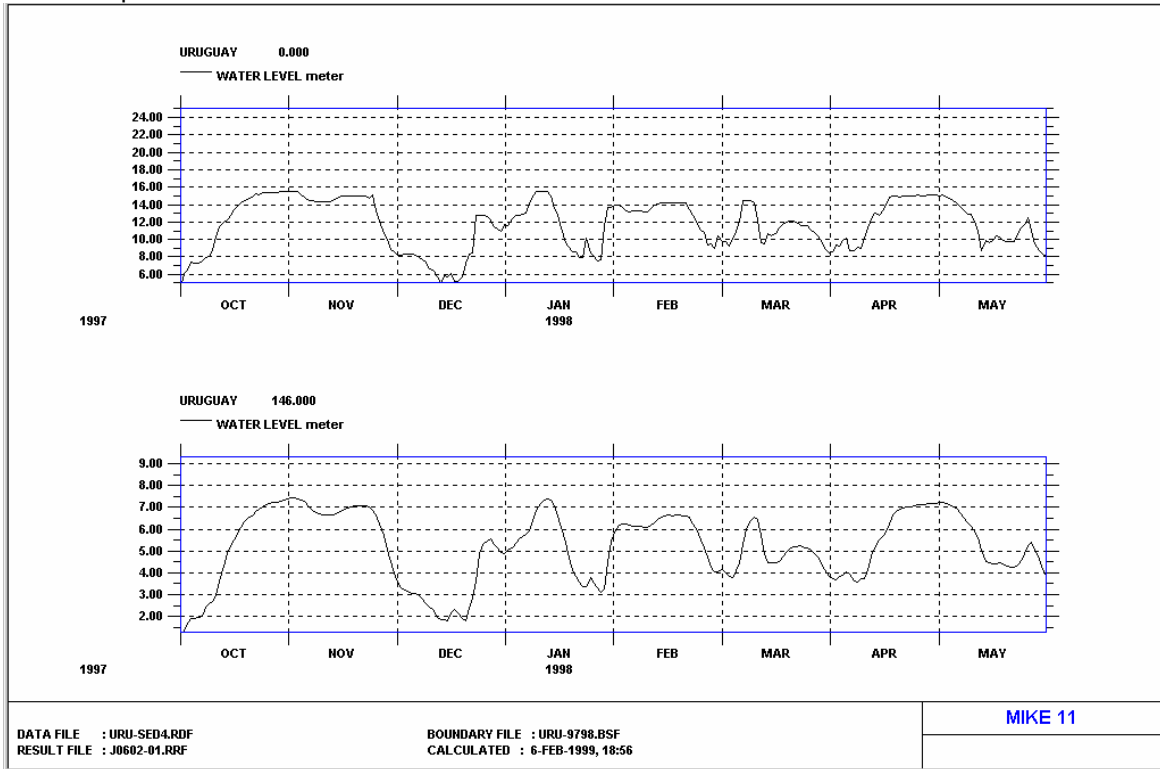
SEDIMENTACIÓN TOTAL EN LA DÁRSENA INTERIOR DURANTE LAS CRECIDAS DE 1997/98

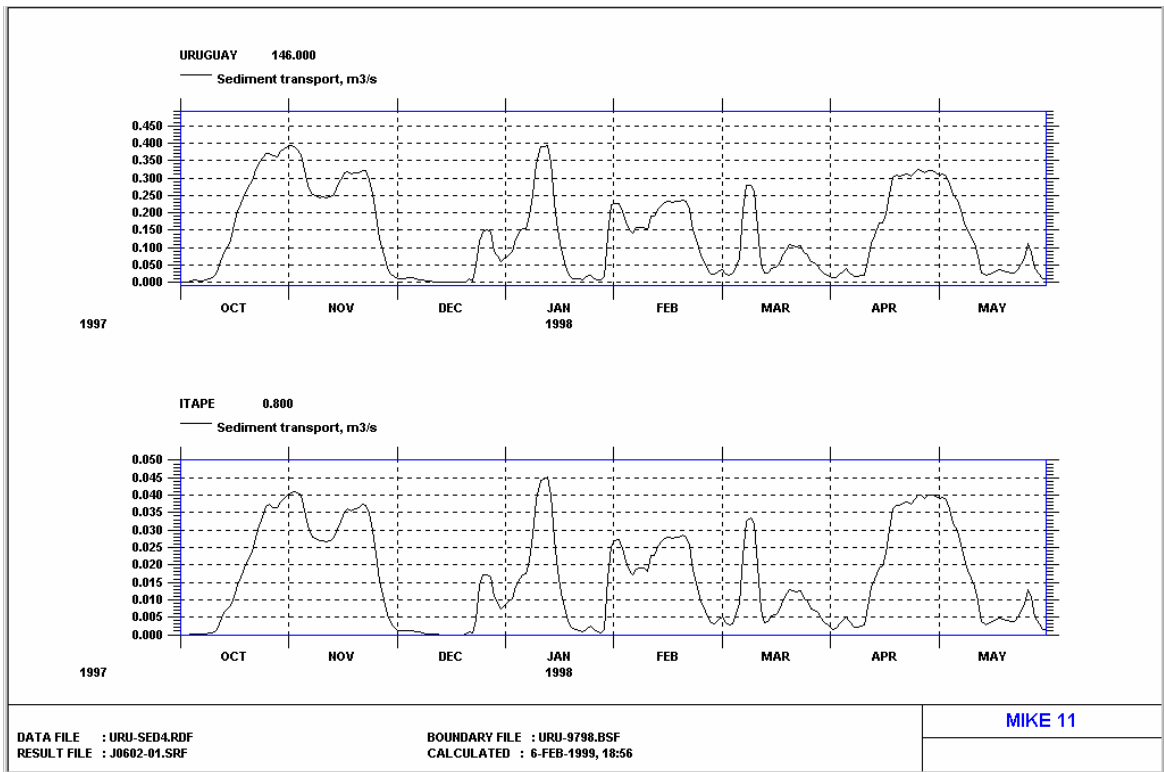
Fecha	Período	Días	Sedimentación Bruta (m ³)	Erosión (m ³)	Sedimentación Neta (Sedim. - Erosión)
02-10-97	2-10-97 a 1-12-97	60	2068	-32510	-30442
01-12-97	1-12-97 a 30-12-97	29	50428	0	50428
30-12-97	30-12-97 a 2-4-98	93	0	-55585	-55585
02-04-98	2-4-98 a 4-5-98	32	7089	-15827	-8738
04-05-98	4-5-98 a 1-6-98	28	242	-26188	-25946
01-06-98	-	242	59827	-130109	-70282

Se observa que ocurrió una erosión significativa, la cota media pasa de -6,94 m a -7,23 m (casi 30 cm en promedio). Posteriormente siguió profundizándose, hasta alcanzar -7,57 m el 30/6/98. La cota de la dársena varió en el período de análisis previo a la crecida entre -6,77 m y -7,21 m, con un valor medio del orden de -7,00 m, por lo que la erosión ocurrida durante y luego de la crecida puede considerarse excepcional.

SIMULACION DE LA EVOLUCION MORFOLOGICA MEDIANTE LA APLICACION DEL MODELO SEDIMENTOLOGICO

La magnitud del transporte en el Río Uruguay se calibró utilizando los datos de caudal sólido en suspensión aforados por EVARSA S.A. Las siguientes figuras presentan los niveles en Concordia y Concepción del Uruguay, los caudales en el río Uruguay antes y después de la derivación del riacho Itape, los caudales en este último curso y el transporte de sedimentos en el río Uruguay y en el Riacho Itapé.





Puede apreciarse que cuando el caudal del Río Uruguay es bajo (condiciones de aguas medias y bajas) el transporte sólido resulta prácticamente despreciable. El transporte sólido que ingresa en el Canal de Acceso es una fracción del transporte total del Río Uruguay superior a la que resultaría de la relación entre el caudal líquido que ingresa al canal y el caudal total del río. La partición de transporte fue calibrada para lograr una tasa de sedimentación correcta en el Canal de Acceso. Este hecho coincide con lo que puede observarse en antecedentes de modelación sedimentológica bidimensional del área que muestran un mayor transporte sólido en la margen derecha del Río Uruguay, donde se encuentra la embocadura del acceso. También puede influir en una mayor captación de sedimentos la presencia de una estructura tipo espigón ubicada inmediatamente aguas abajo de dicha embocadura.

El siguiente cuadro muestra la variación temporal de la cota media del lecho medida y simulada por el modelo matemático.

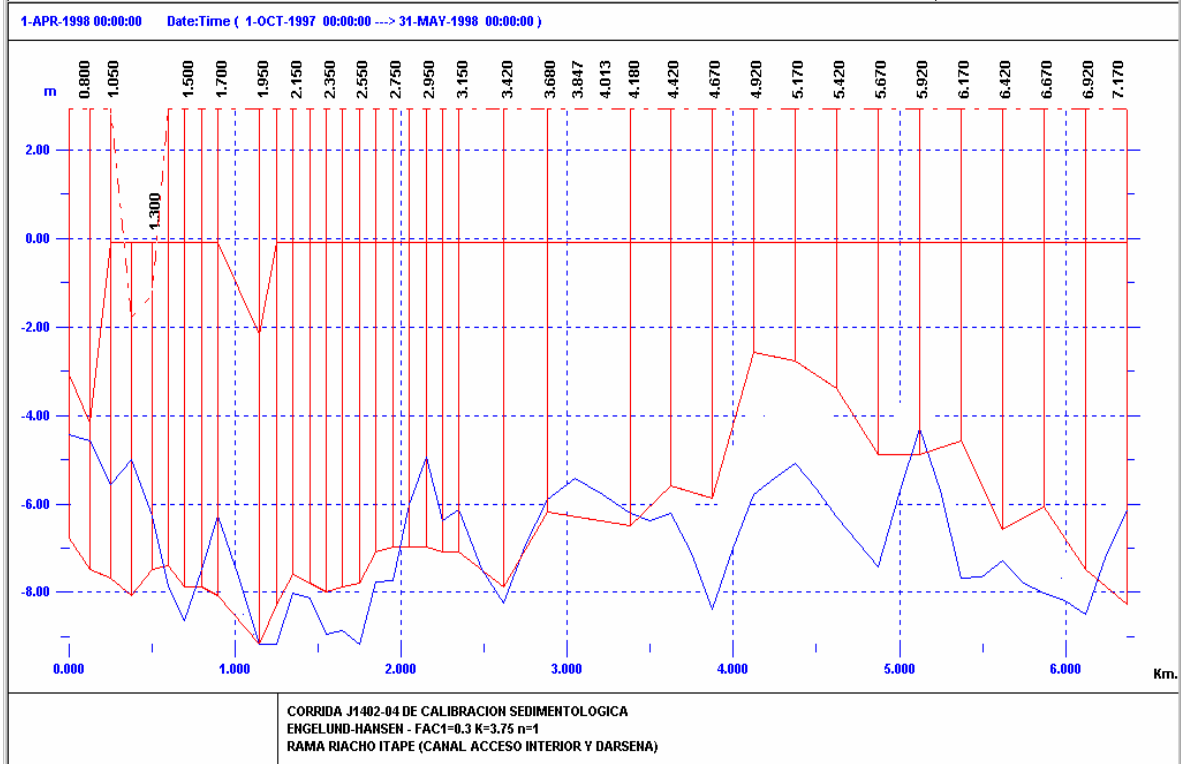
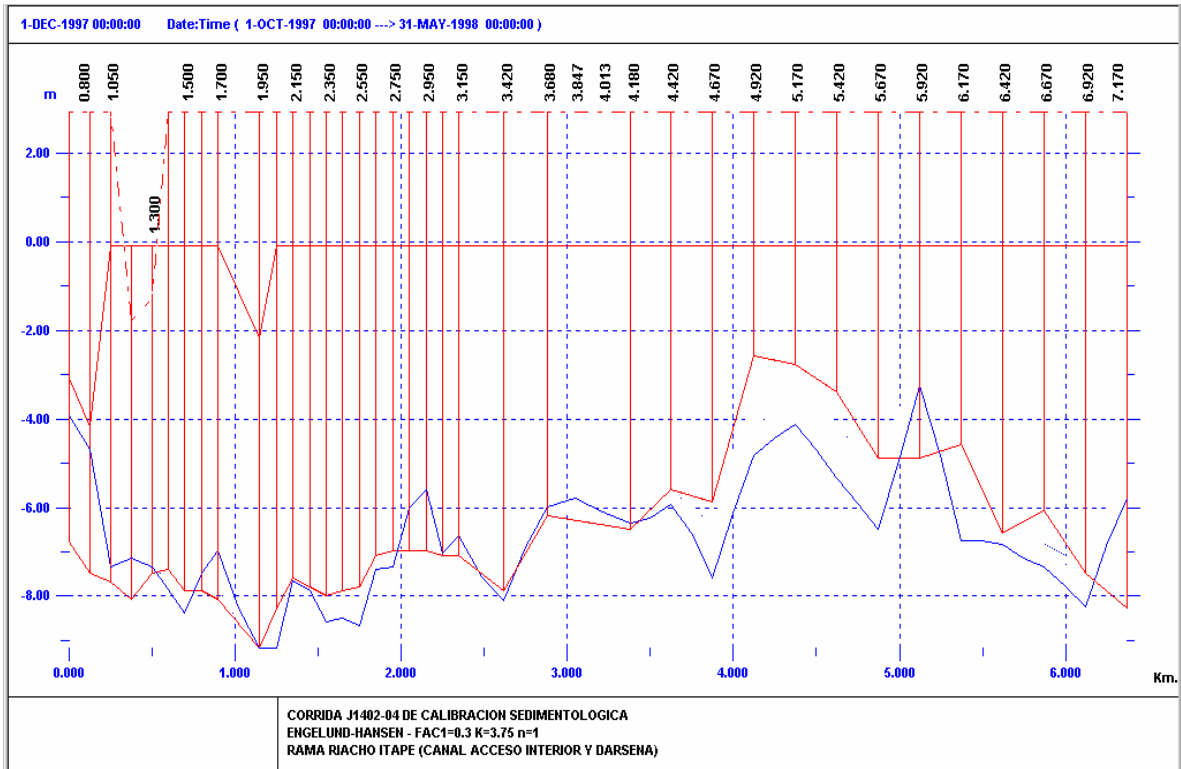
Fecha	Nivel Medio Mensual (mes previo) (m)	Cota Media Lecho (m)	Variación Media MODELO Desde el 1/10/97 (m)	Variación Media HISTORICA Desde el 1/10/97 (m)
1/10/1997	3,24	-7.64	-----	-----
1/11/1997	10,65	-7.29	0.35	Sin datos
1/12/1997	12,61	-6.87	0.77	0.83
1/1/1998	6,98	-6.81	0.83	1.28
1/2/1998	10,53	-6.57	1.07	Sin datos
1/3/1998	11,66	-6.34	1.30	Sin datos
1/4/1998	9,97	-6.21	1.44	1.43
1/5/1998	11,30	-5.97	1.67	1.68
31/5/1998	10,33	-5.83	1.81	1.38

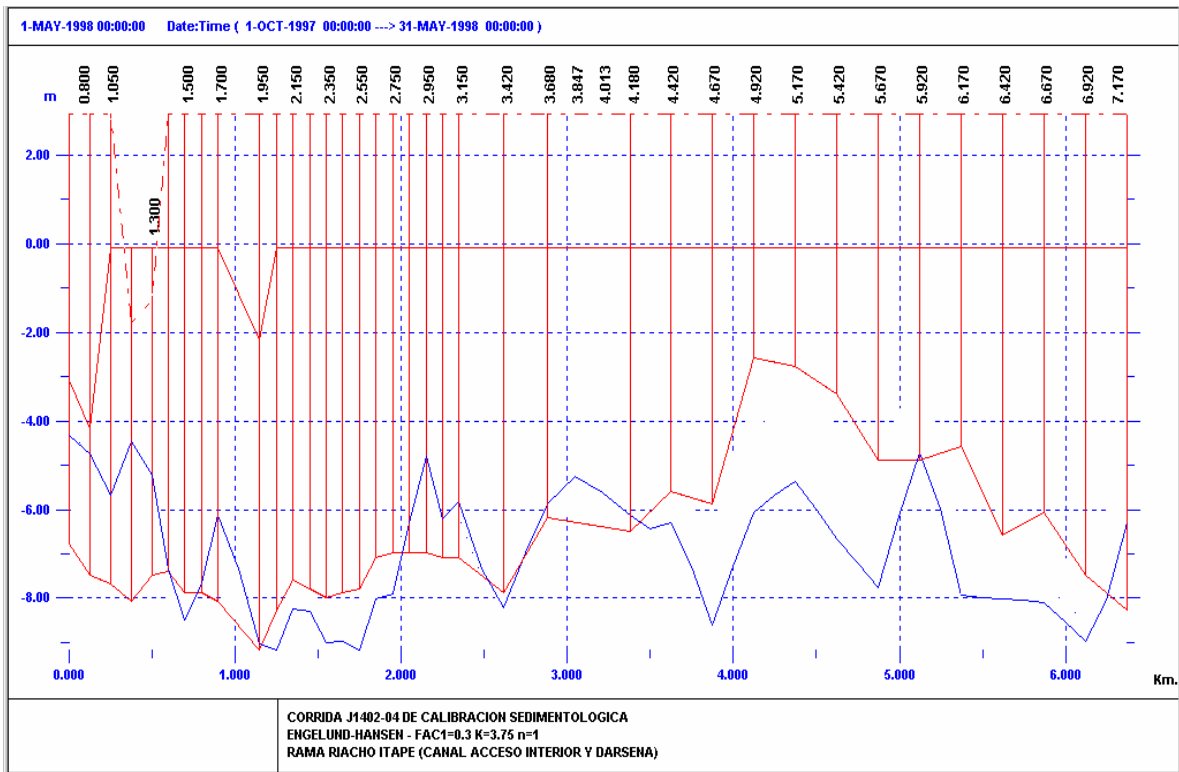
Se puede apreciar que la variación global resulta bien representada por el modelo matemático para los períodos 1/10-1/12/97 y 1/10/97-1/4/98, aunque ciertas variaciones parciales tienen un aparente desajuste (que podría estar causado por un error en la cota de reducción de algún relevamiento intermedio).

Asimismo, durante el mes de Mayo de 1998 se obtuvo por comparación de relevamientos una erosión de 20 cm, mientras que el modelo predice una sedimentación de 14 cm.

La evolución del lecho a lo largo del canal (km 0,7 a 1,8), la dársena (km 1,8 a 2,9) y el Riacho Itapé, puede apreciarse en los siguientes gráficos.

PERFILES LONGITUDINALES DE LA EVOLUCIÓN DEL LECHO AL 1/12/97, 1/4/98 Y 1/5/98 EN LA RAMA DEL RIACHO ITAPE, FRENTE AL PUERTO DE CONCEPCION DEL URUGUAY





ESTIMACIÓN DE LA SEDIMENTACIÓN DURANTE UNA CRECIDA EXTRAORDINARIA PARA DIFERENTES COTAS DE DRAGADO DEL LECHO

Para efectuar una estimación de la sedimentación que podría presentarse en el Canal Interior de Acceso al Río Uruguay, durante una crecida, se analizaron los registros de niveles de los años 1997 y 98, seleccionándose como una crecida extraordinaria típica de dos meses de duración, el intervalo de Octubre y Noviembre de 1997. En el siguiente cuadro se presentan los niveles medios mensuales en la escala de Concordia (abajo de la represa de Salto Grande).

Mes-Año	Nivel (m) Concordia	Mes-Año	Nivel (m) Concordia
May-97	1,67	Ene-98	10,53
Jun-97	4,02	Feb-98	11,66
Jul-97	4,94	Mar-98	9,97
Ago-97	6,08	Abr-98	11,30
Sep-97	3,24	May-98	10,33
Oct-97	10,65	Jun-98	7,18
Nov-97	12,61	Jul-98	5,70
Dic-97	6,98	Ago-98	7,61

Se seleccionaron diferentes condiciones de dragado, en un ancho de 80 metros (incluyendo la revancha lateral habitual), correspondientes a distintas profundidades náuticas al cero local. En todos los casos se consideró una revancha bajo quilla de 2 pies y una previsión para sedimentación futura de 2 pies más, totalizando 1,2 m de sobredragado. El calado navegable, en este caso sería igual a la determinante si el nivel del río se ubicara en cercanías del cero. Para condiciones medias, puede disponerse con cierta seguridad de 2 o 3 pies extra, siempre que no sople viento del sector norte.

Las cotas de lecho evaluadas son las siguientes:

Calado Navegable Al cero local (pies)	Calado Navegable al cero local (m)	Cota dragado con revancha al cero local (m)	Cota dragado Con revancha al cero IGM (m)
21	6.41	-7.61	-7.69
23	7.02	-8.22	-8.30
27	8.24	-9.44	-9.52
32	9.76	-10.96	-11.04

Los resultados obtenidos como predicción de sedimentación durante la crecida se presentan en el siguiente cuadro:

Calado Navegable Al cero local (pies)	Sedimentación Media En 1 mes (m)	Sedimentación media en 2 meses (m)	Aumento de Sedim. (%)	Volumen de Sedimentación en 2 meses (miles m ³)	Observaciones
Aprox. < 21	Sin dato	0,83	-	60,0	Según perfiles
Aprox. < 21	0,35	0,77	-	55,4	Según Modelo
21' en 80 m	0,46	1,03	34	74,2	"
23' en 80 m	0,48	1,08	40	77,8	"
27' en 80 m	0,51	1,15	49	82,8	"
32' en 80 m	0,53	1,22	58	87,8	"

CONCLUSIONES

Se ha implementado un modelo matemático sedimentológico basado en el programa MIKE 11 del Danish Hydraulic Institute, que permite estimar la sedimentación en el Canal de Acceso Interior al Puerto de Concepción del Uruguay, ante la ocurrencia de crecidas extraordinarias.

El modelo fue ajustado para las condiciones relevadas durante las sucesivas crecidas que ocurrieron entre octubre de 1998 y Mayo de 1999. Luego se lo aplicó para evaluar el incremento de sedimentación que se produciría durante una crecida si el canal se profundizara para permitir el ingreso de buques con mayor calado navegable.

Se concluyó que un ligero incremento en las cotas del lecho y una uniformización del ancho de solera para asegurar en 80 m a la cota de diseño de 21 pies (23 pies de determinante), provocaría un incremento de sedimentación del orden del 34% respecto de las condiciones reales previas, que se corresponden con una determinante algo inferior a los 21 pies en un ancho mínimo cercano los 60/70 m.

Un ulterior incremento de la profundidad hasta alcanzar los 32 pies en 80 m solamente provoca un incremento del orden del 20% respecto de la condición para 21 pies (de 1,03 a 1,22 m). Este incremento moderado se debe a que la alimentación de transporte sólido desde el Río Uruguay es poco dependiente de la cota del lecho del Canal de Acceso, y además prácticamente gran parte de lo que ingresa se deposita en el tramo correspondiente al canal, independientemente de la profundidad del mismo.