

MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA PLUMA DE SEDIMENTOS DE VACIADO DE CÁNTARA - DRAGADO DEL CANAL SUR INTERIOR DE ACCESO AL PUERTO DE BUENOS AIRES

Por Julio Cardini¹ y Noelia Legal²

RESUMEN

El estudio se realizó en el marco del Plan de Gestión Ambiental del Proyecto de dragado de Mantenimiento del Canal Sur Interior (desde "4 bocas" al Km. 1,0), a desarrollarse en la localidad de Dock Sud, partido de Avellaneda (Figura 1). El dragado de este tramo del canal se realizaba en los últimos años con refulado a recintos terrestres, y el dragado evaluado en este trabajo es el primero en el que se emplea una draga de succión por arrastre con cántara (Hopper). Como antecedentes se cuenta con monitoreos de la pluma de descarga de una draga de succión por arrastre con cántara realizados durante operaciones de vaciado de materiales dragados en el tramo exterior del Canal Sur, en la zona permitida por la Dirección Nacional de Vías Navegables.

El análisis de la evolución que podría experimentar el material dragado al ser vertido en la zona de vuelco autorizada, se realizó mediante dos modelos matemáticos. En primer lugar mediante el modelo STFATE (Short Term Fate of Dredged Material Disposed in Open Water for Predicting Deposition and Water Quality Effects, 1995) se analizó la evolución inicial, en el "campo cercano", a los fines de determinar el porcentaje y composición del material que queda en suspensión disponible para ser transportado por la corriente.

Luego mediante un modelo hidrosedimentológico (RMA2 / SED-2D, desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers, Wicksburg Experimental Station) se simuló la evolución, en el "campo lejano", de las plumas de concentraciones de sedimentos en suspensión.

Las condiciones de borde aplicadas al contorno sur del modelo hidrosedimentológico surgieron de una interpolación de los niveles de marea correspondientes a Montevideo y a San Clemente. Las condiciones de borde especificadas aguas arriba son los caudales en los distintos brazos del delta del Río Paraná y en la desembocadura del Río Uruguay.

La calibración del modelo hidrodinámico bidimensional RMA-2 consistió en verificar que el mismo permite reproducir aceptablemente las velocidades de la corriente así como los niveles medidos en distintas estaciones de control.

Los resultados obtenidos de la simulación de transporte de sedimentos con el modelo SED-2D son compatibles con las evoluciones observadas de las "plumas" de dispersión de sedimentos descargadas por dragas en el Río de la Plata, que presentan una escasa dispersión, lo cual se traduce en la necesidad de especificar bajos coeficientes de dispersión en la simulación. Este hecho se refleja, también, en la existencia de corredores de flujo en el Río de la Plata (Ré, 2005).

El máximo acercamiento del borde de la pluma a la Toma de Agua de Bernal se produce en un escenario sin viento, quedando el mismo a una distancia de 7,2 km, si bien en los demás casos las condiciones fueron similares. Bajo condiciones meteorológicas intensas el patrón de "corredores" se ve afectado, pero las circulaciones de agua en cercanía de la costa se ven limitadas por la condición de contorno natural que impone que el flujo deba ser paralelo a la misma en sus inmediaciones. Por tal razón difícilmente se produzcan mezclas transversales de agua en gran escala en cercanías de la zona donde se encuentra la toma de Bernal, sino que los efectos del viento generan fenómenos locales de recirculación con una escala de pocos kilómetros, que no llegan a provocar un intercambio significativo entre las masas de agua que circulan en inmediaciones del canal de navegación (donde se realiza el vaciado de la draga), y en cercanías de la zona costera.

La principal medida de mitigación para la primera operación de dragado del Canal Sur Interior con draga de succión por arrastre, fue distanciar el área de vaciado de la toma de Bernal, más de lo que fue históricamente aprobado por la Dirección de Vías Navegables y por el OPDS para los dragados del Canal Sur Exterior, y también para el dragado analizado. En función de los análisis efectuados, tanto para el caso de mareas sin viento, como con vientos moderados o fuertes, se verifica que la pluma no se acerca significativamente a la costa y en conclusión no se detectan riesgos de afectar negativamente dicha toma de agua ni otras áreas costeras que pudieran ser sensibles.

¹ Consultor en Serman & asociados s.a. – cardini@serman.com.ar

² Especialista en Modelación Matemática en Serman & asociados s.a. – legal@serman.com.ar

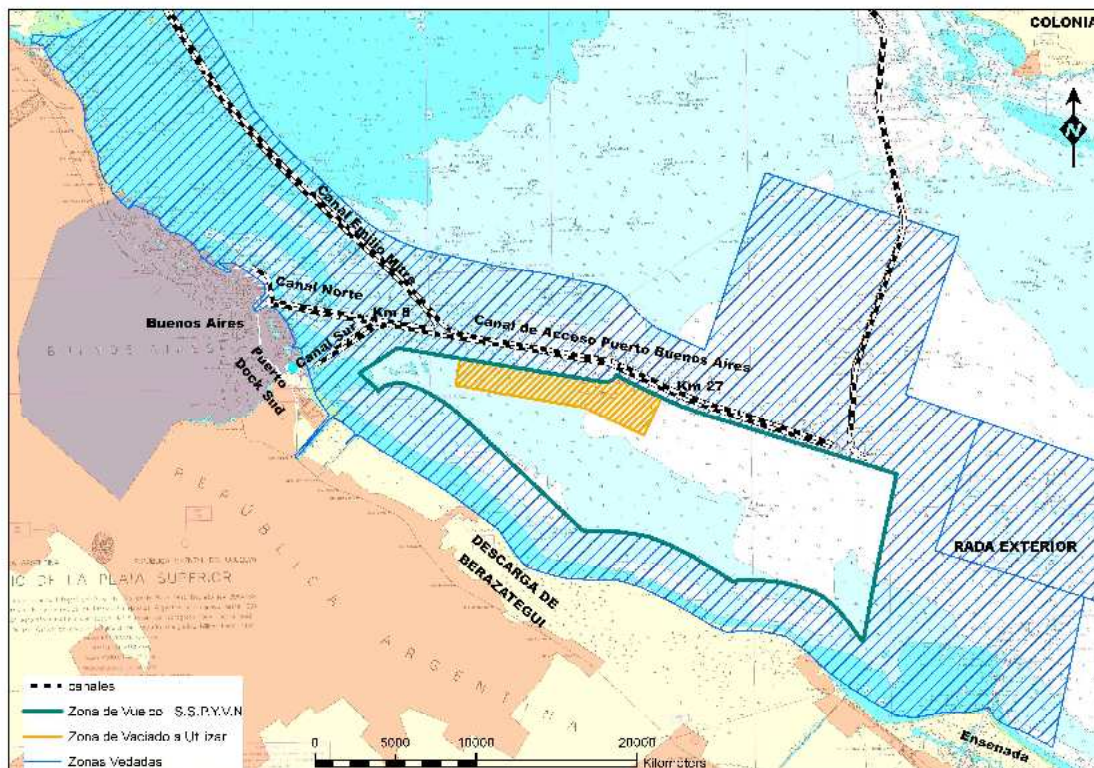


Figura 1. Ubicación Zona de Estudio.

MODELO MATEMÁTICO HIDRODINÁMICO

La modelación hidrodinámica bidimensional se realizó con el programa RMA2, desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers, Wicksburg Experimental Station, para simular flujos naturales a superficie libre, donde el movimiento es esencialmente horizontal y puede ser descrito por una aproximación bidimensional debido a que la aceleración vertical es pequeña en comparación con la componente horizontal.

El programa RMA2 utiliza el método de elementos finitos para resolver un sistema de ecuaciones que describen las condiciones hidrodinámicas de un área determinada definida a través de una malla de elementos finitos, obteniéndose como resultado las velocidades medias del flujo y los niveles de agua.

El modelo matemático de la zona de estudio fue esquematizado y calibrado de acuerdo con el procedimiento que se detalla a continuación:

- Se adoptó como dominio del modelo matemático al Río de La Plata en toda su extensión, a los efectos de no introducir errores en la especificación de bordes que, particularmente bajo condiciones de viento significativo, pueden no constituir líneas de corriente, dada la complejidad que presentan los patrones de circulación bajo dichas condiciones. El contorno Sur del modelo sigue una línea isotidal (de igual fase) de la componente M2 (lunar principal semidiurna) según se halla definido en el Documento de la CARP del año 1989, "Estudio para la evaluación de la contaminación en el Río de la Plata". La misma pasa por San Clemente y un punto intermedio entre Montevideo y Punta del Este.
- Se definieron las cotas del lecho fluvial en base a las cartas del SHN y a información batimétrica más detallada para la zona de interés. Se construyó una malla de elementos finitos previendo una discretización más fina en la zona correspondiente al área en donde se previó que puede moverse la pluma de sedimentos en suspensión. La malla de elementos finitos y la topografía del lecho se presentan en la Figura 2 y Figura 3, respectivamente.

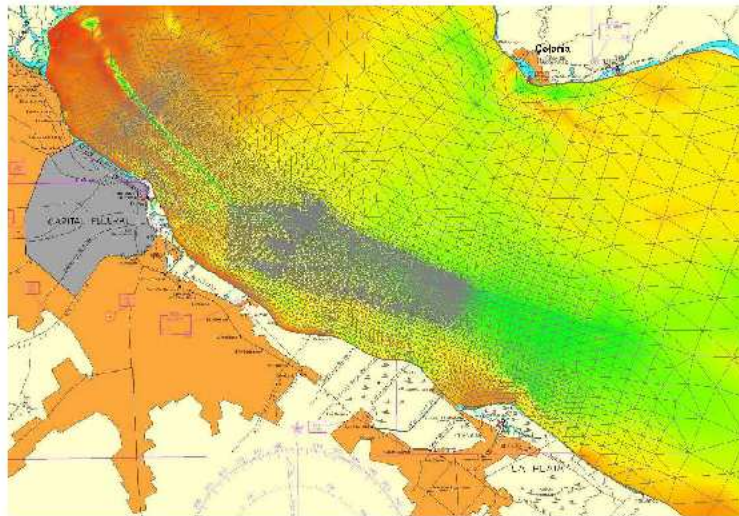


Figura 2. Malla de elementos finitos, zona de mayor discretización.

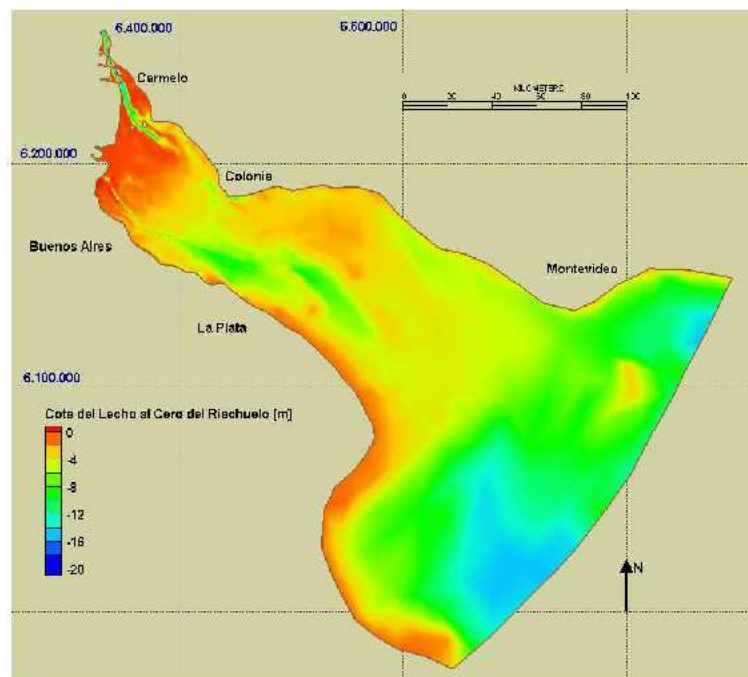


Figura 3. Topografía del lecho.

- Las condiciones de borde aplicadas al contorno sur del modelo resultan de la interpolación lineal de los niveles de marea correspondientes a Montevideo (con un desfase para trasladarlos al punto extremo del modelo) y a San Clemente.
- Las condiciones de borde especificadas aguas arriba son los caudales en los distintos brazos del delta del Río Paraná y en la desembocadura del Río Uruguay. Estos caudales se calculan con las leyes altura-caudal en Rosario y en Concordia (descarga de la represa de Salto Grande) asumiendo un desfase temporal de 10 días en el Río Paraná y 2 días en el Río Uruguay para permitir la llegada de las ondas hasta el delta. La distribución de caudales en los brazos fluviales se evaluó a través de la aplicación de un modelo unidimensional de redes previamente implementado con cobertura desde el Delta hasta la ciudad de Diamante en el Río Paraná y de Concordia en el Río Uruguay, ajustado a través de su empleo en estudios precedentes.

- Si bien en realidad existe una fluctuación del caudal instantáneo debido a la influencia de la marea, el efecto de imponer una condición no variable no alcanza a afectar significativamente en el área de interés para el presente estudio.
- Los datos de viento sobre el Río de la Plata para las condiciones de calibración del modelo se obtuvieron de las mediciones en la estación de monitoreo "EF1" ubicada en el extremo del muelle de la toma de agua de La Plata durante las operaciones de construcción y tapada de la zanja del Gasoducto Cruz del Sur, entre La Plata y Colonia, con correcciones en función de la información sobre el campo de vientos sobre el Río de la Plata brindada por Meteomer, a través del programa EOLIUS. Estas correcciones se efectuaron con el objeto de mejorar la calibración de los niveles en las distintas estaciones, en los casos en que las condiciones de dirección o intensidad del viento en el Río de la Plata Exterior eran marcadamente diferentes, como se muestra en los siguientes gráficos de ejemplo.

La calibración del modelo consistió en verificar que el mismo permite reproducir aceptablemente las velocidades de la corriente así como los niveles medidos en distintas estaciones de control, cuya ubicación puede apreciarse en la Figura 04. El parámetro de ajuste fue el coeficiente de rugosidad de Manning (n), el cual fue modificado hasta lograr para $n = 0,015$ un buen ajuste de las velocidades medidas con correntómetro y de los niveles registrados en las distintas estaciones de control.

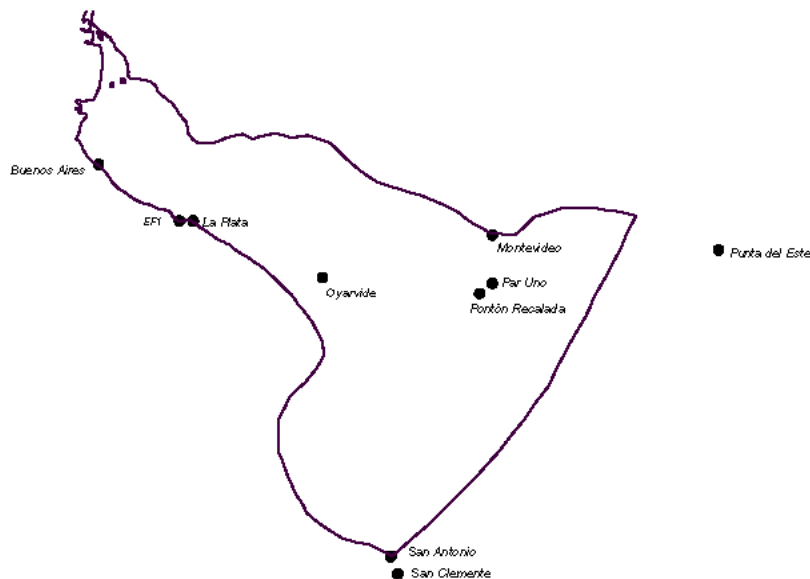


Figura 04. Estaciones de control utilizadas en la calibración.

MODELO MATEMÁTICO SEDIMENTOLÓGICO

Para la evaluación de la dispersión espacial de los materiales descargados por la draga, se implementó el modelo de transporte bidimensional de sedimento (promedio en la vertical) SED2D-WES, desarrollado por el US Army Engineering Waterways Experiment Station (WES), por medio del cual se simuló la evolución de las plumas de concentraciones de sedimentos en suspensión.

El modelo resuelve la ecuación de convección-difusión presentada por Ariathurai, MacArthur y Krone en 1977. La información hidrodinámica es calculada por el modelo RMA2 para la misma malla de elementos finitos.

La condición de borde que debe especificarse en el modelo es la concentración de sedimentos en suspensión que ingresa en el extremo de aguas arriba. Dado que en el presente análisis interesa conocer la participación del dragado en la concentración de sedimentos, la concentración en el borde se adopta como nula. De esta forma, los resultados obtenidos representan únicamente la contribución del refulado por encima de los niveles naturales que, por otro lado, son variables en el tiempo en función del aporte fluvial (Río Bermejo) y del oleaje.

La dispersión del material en suspensión depende fundamentalmente de la velocidad de caída del sedimento (dependiente de su granulometría), la velocidad del flujo (función del estado de la marea y de la ubicación del punto de descarga, obtenida mediante el modelo hidrodinámico) y los coeficientes de dispersión turbulenta (que se ajustan normalmente en base a la simulación de condiciones medidas). Para la elección de los coeficientes de dispersión se utilizó la experiencia obtenida en distintos análisis de sensibilidad en estudios antecedentes, adoptándose finalmente $E_x = E_y = 2 \text{ m}^2/\text{s}$.

PARÁMETROS DE MODELACIÓN DE LA PLUMA DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN

Para poder estudiar y modelar la pluma de sedimentos generada por el vertido de material desde una draga, previamente hay que analizar la evolución inicial, en el campo cercano, del material vaciado, a los fines de determinar el porcentaje de material que queda en suspensión disponible para ser transportado por la corriente. Para determinar dichos porcentajes y composición del material que queda en suspensión, se utilizó el modelo STFATE (Short Term Fate of Dredged Material Disposed in Open Water for Predicting Deposition and Water Quality Effects, 1995), perteneciente al sistema ADDAMS (Automated Dredging and Disposal Alternatives Management System), y desarrollado para simular la disposición de material en el mar en forma de descargas discretas por medio de barcasas o dragas de cántara (hopper).

En la simulación se consideró que la descarga se realiza desde una Draga típica de Succión por arrastre con cántara; y que el material descargado está compuesto de 4 fracciones granulométricas representadas por: arena, limo grueso, limo medio + limo fino y arcilla, las cuales tienen las siguientes condiciones típicas (Tabla 1):

Tabla 1. Características del material descargado

Material	Diámetro típico (micrones)	Rango (micrones)	Velocidad de caída (mm/seg)
Arena	74	> 62	4,6
Limo Grueso	40	31 – 62	1,4
Limo Medio y Fino	20	4 – 31	0,25
Arcilla	4	< 4	0,1

Los resultados obtenidos, de distribución granulométrica del material depositado y del que queda en suspensión a los 16 y 30 minutos se presentan la Tabla 2. La Figura 5, muestra la evolución temporal del porcentaje depositado de cada fracción respecto del volumen vaciado de cada una de ellas.

Tabla 2. Porcentajes en suspensión y depositado, para cata tipo de material a los 16 y 30 minutos

	Tiempo (minutos)	Porcentaje Material	
		En Suspensión	Depositado
ARENA	16	7%	93%
	30	4%	96%
LIMO GRUESO	16	54%	46%
	30	15%	85%
LIMO MEDIO + FINO	16	89%	11%
	30	79%	21%
ARCILLA	16	97%	3%
	30	94%	6%

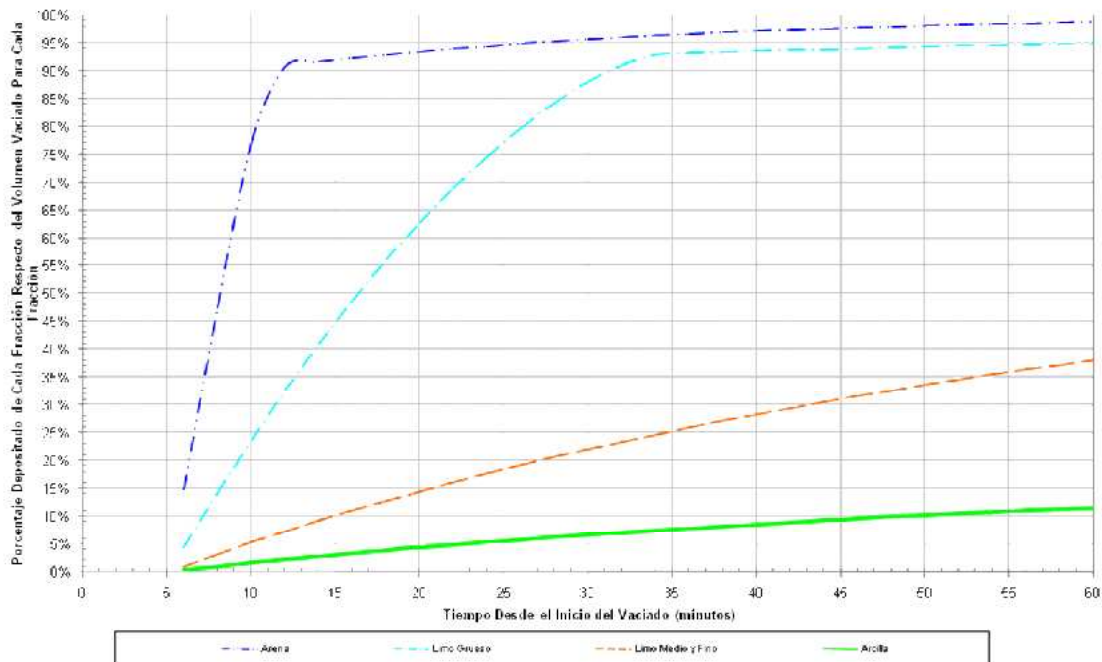


Figura 5. Evolución temporal del material depositado. Resultados del modelo STFATE, para el vertido de material desde una draga de succión por arrastre.

Puede apreciarse que, siendo la fracción de arcilla la que tiene mayor persistencia en el medio, los efectos de la misma sobre las concentraciones son superiores que para las otras fracciones más gruesas.

Para estimar el peso material que queda en suspensión debe realizarse una hipótesis sobre la composición de la mezcla de sedimento en la cántara. Para ello, la condición más conservativa desde el punto de vista de la pluma, es considerar que la misma responde al dragado de un sector en el cual el depósito de arena es mínimo o prácticamente inexistente. De esta forma, el contenido de la cántara estará compuesto por materiales finos (predominantemente limosos) y arcillosos. La granulometría de los sedimentos dragados se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Granulometría de los sedimentos del Canal Sur Interior.

Clase	Diámetro (micrones)	Predragado		Postdragado		Típico	Adoptado
		Promedio	Desvío	Promedio	Desvío	Promedio	Conservativo
Arena muy fina	> 62,5	14,8	6,2	14,2	4,4	15	14
Limo grueso	31,2 - 62,5	15,9	3,0	15,2	4,2	15	14
Limo medio	15,6 - 31,2	12,0	2,8	13,2	5,9	13	13
Limo fino y muy fino	3,9 - 15,6	17,8	3,4	18,8	3,1	18	19
Arcilla	< 3,9	39,5	7,1	38,6	8,6	39	40

La densidad in-situ para depósitos recientes como los dragados oscila entre 1,25 y 1,3 tn/m³. Teniendo en cuenta que, sin rebalse, el llenado de la cántara puede ubicarse en un rango de hasta 50% como máximo, y considerando la mayor densidad in-situ, la densidad en cántara para dragados de mantenimiento resulta de 1,15 tn/m³, o densidad seca 0,24 tn/m³, lo cual implica una carga de 840 ton para una cántara de 3500 m³.

Visto de otra forma, estimando que la cántara se llena en un 50% de sedimento in-situ, su volumen sería de 1750 m³, y si se considera una densidad máxima de 1,3 tn/m³, que equivale a una densidad seca de 0,48 kg/m³ (del material a dragar), resulta la misma masa anterior.

Los porcentajes estimados para cada fracción (conservativos) son los siguientes (Tabla 4):

Tabla 4. Porcentajes estimados para cada fracción.

Clase	Granulometría	% Adoptado	% en suspensión en 30 min	% en suspensión en 30 min	% en suspensión adoptado	Masa en suspensión adoptada para la pluma
	Diámetro (µm)	Del total	De cada fracción	Del total	Del total	ton
Arena muy fina	>62,5	14	4	0,56	0	0
Limo grueso	31,2 - 62,5	14	15	2,1	0	0
Limo medio	15,6 - 31,2	13	50	6,5	7	59
Limo fino y muy fino	3,9 - 15,6	19	80	15,2	15	126
Arcilla	<3,9	40	95	38	38	319
Total		100		62	60	504

Se puede apreciar que de acuerdo a los análisis efectuados con el modelo STFATE en sólo 30 minutos queda en suspensión un 62% del material descargado.

Teniendo en cuenta que las fracciones de limo medio y arena se depositan muy rápidamente luego del vaciado, quedando porcentajes en suspensión despreciables, se ha simulado el campo lejano de la pluma considerando que el porcentaje de material remanente en suspensión es el 95% de la arcilla, el 80% del limo fino y muy fino y el 50% del limo medio, resultando en consecuencia la masa de sedimento a emplear para evaluar la dispersión de la pluma, igual a 504 ton por ciclo de vaciado de acuerdo a la tabla precedente.

La velocidad de caída adoptada para la fracción arcilla es igual a 0,01 mm/s mientras que el limo medio se integró con el limo fino y muy fino considerando una velocidad de caída de 0,25 mm/s y 185 ton/ciclo de masa descargada.

ESCENARIOS DE EXPLOTACIÓN DE LOS MODELOS

De acuerdo a las estimaciones de producción presentadas anteriormente, y considerando que la forma en que se dispersa el material depende de los distintos campos de velocidad actuantes, los cuales sufren, en el Río de la Plata, fuertes variaciones por efecto del viento; se realizaron simulaciones de la dispersión de la pluma de sedimentos para las siguientes condiciones hidrodinámicas:

- Condiciones de caudales medios con marea media, sin viento.
- Condiciones de caudales medios con marea media, perturbada por un campo de viento de dirección SE y duración 1,5 días.
- Condiciones medias de caudales y marea, perturbada por campo de viento suave (25 km/hora) de dirección NE y duración 1,5 días, seguido de vientos fuertes del SE de 55 km/h de intensidad y duración 1,5 días.

Las condiciones de viento fueron seleccionadas en base a la estadística de vientos en la zona, y estimando que las corrientes generadas bajo esas condiciones podrían provocar un acercamiento de la pluma de material en suspensión a la costa. La Tabla 5, resume los caudales que ingresan al río de La Plata desde los ríos Paraná y Uruguay, en condiciones de aguas medias. Dichos caudales constituyen la Condición de Borde aguas arriba del modelo.

Tabla 5. Caudales que ingresan al Río de la Plata en condiciones medias.

		Q m ³ /s
Río Paraná	Rosario	17439
	Guazú Desembocadura	5836
	Río Sauce	4439
	Paraná Bravo	4418
	Palmas y Miní (Gutierrez)	2746
Río Uruguay	Concordia	2861

Se consideró que la draga vierte el material cada 3,5 horas, alternando entre zona 1 y zona 2 (ambas ubicadas en la zona de vuelo a utilizar

Figura 6). La masa a descargar en cada vertido es de 840 ton y se asumió que quedan en suspensión 504 ton, de las cuales 185 corresponden a Limo (velocidad de caída = 0,25 mm/s) y las restantes 319 ton son de arcilla (velocidad de caída = 0,01 mm/s).

La longitud del período de tiempo simulado es suficiente como para que se manifiesten los efectos de dispersión como de acumulación, esta última debida a la máxima superposición de la pluma dada por el arrastre de las corrientes en sucesivos ciclos de marea.

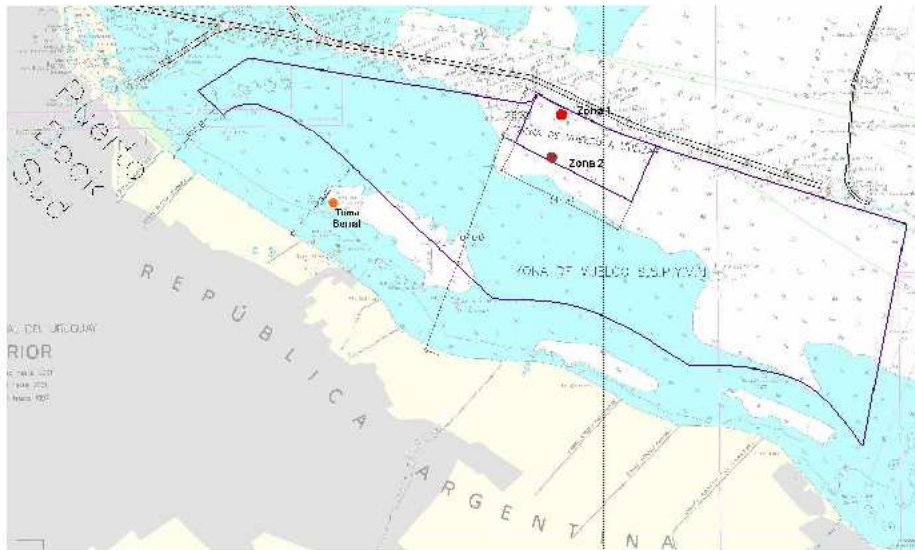


Figura 6 Ubicación de las Zonas de vertido del material dragado en el Canal Sur, Zona 1 y Zona 2, utilizadas en las simulaciones sedimentológicas.

En la Figura 7, se presenta un ejemplo del campo de velocidades del flujo en todo el Río de la Plata, para condiciones normales de viento.

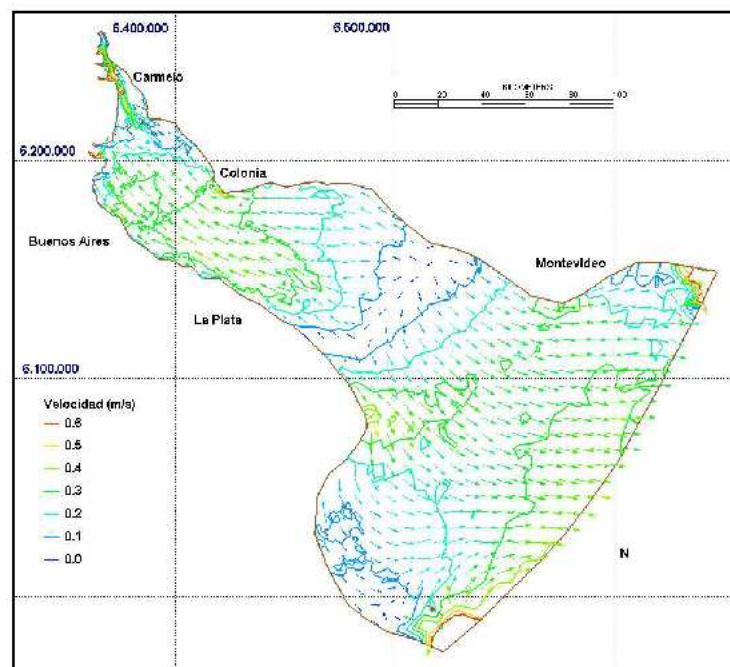


Figura 7. Campo de velocidades en el Río de la Plata, en condiciones normales de viento.

Los resultados obtenidos, coinciden con mediciones realizadas por "AIC Estudios y Proyectos S.R.L. – Ezcurra y Schmidt S.A", en el marco de la gestión ambiental de los dragados de Canal Sur. En la Figura 8 y Figura 9, se muestra como los resultados obtenidos en las simulaciones presentan un patrón de corrientes similar al determinado con la derrota de los derivadores Lagrangeanos, dato extraído del Informe Final: "Verificaciones In Situ de Parámetros para la Gestión Ambiental de Dragados Canal Sur. Acceso al Puerto de Dock Sur Provincia de Buenos Aires. AIC Estudios y Proyectos S.R.L. – Ezcurra y Schmidt S.A".

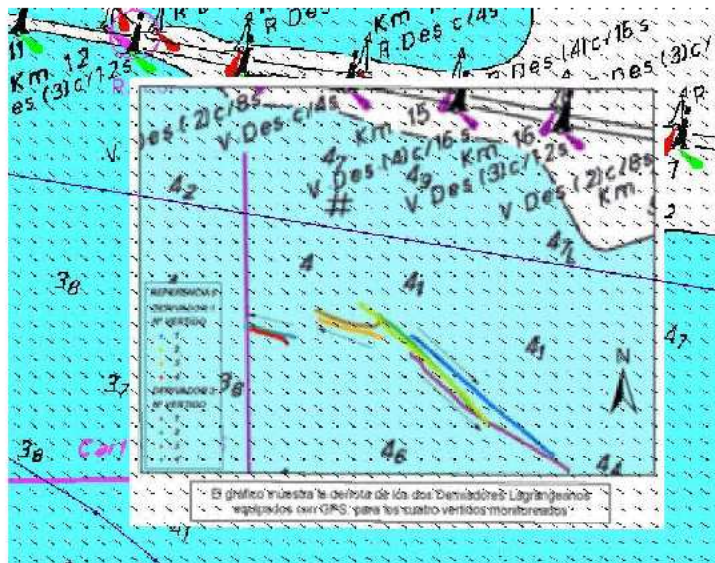


Figura 8. Campo vectorial de velocidades modeladas en bajante, superpuestas a la derrota de los derivadores Lagrangeanos (líneas azul verde y violeta).

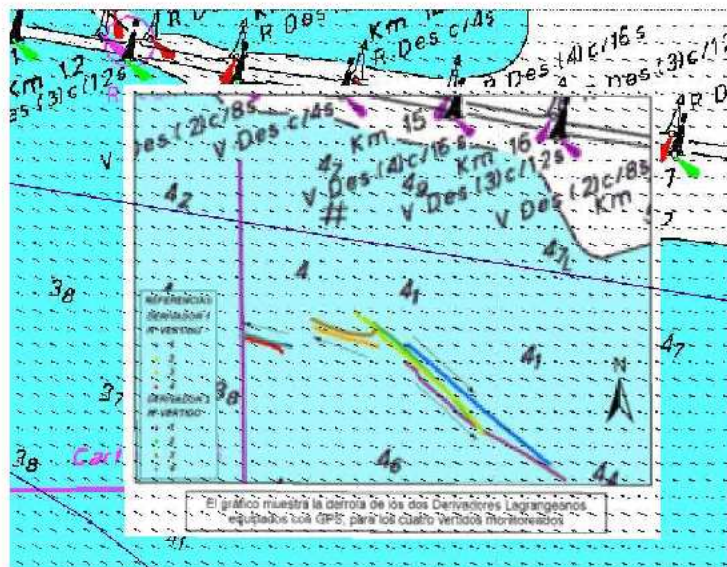


Figura 9. Campo vectorial de velocidades modeladas en bajante, superpuestas a la derrota de los derivadores Lagrangeanos (líneas marrón, naranja y roja).

La Figura 10 muestra, la evolución temporal de la intensidad de la corriente y de la elevación de la superficie, en las dos zonas de descarga (zona 1 y zona 2), para los tres escenarios hidrodinámicos simulados. Puede observarse que para condiciones sin viento o con vientos suave (del NE o SE), la intensidad de la corriente está en el rango 0,0 m/s – 0,45 m/s y la elevación de la superficie oscila entre 0,5 m – 1,5 m. Mientras que para condiciones de sudestada la velocidad se eleva a 0,75 m/s y el nivel de la superficie libre se incrementa hasta alcanzar los 3 metros.

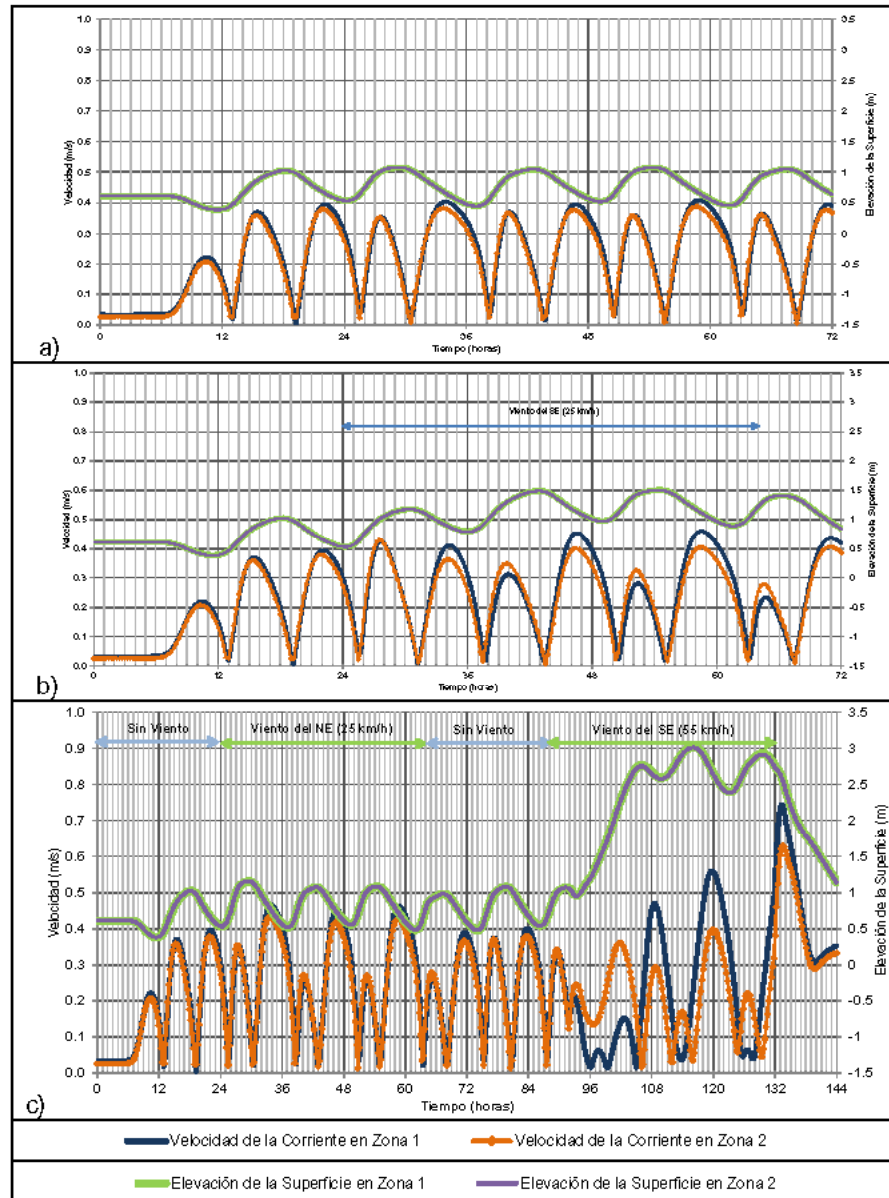


Figura 10. Evolución de la velocidad y de la elevación de la superficie en las zonas de descarga (Zona 1 y Zona 2), en los escenarios simulados: a) Sin viento; b) con Viento moderado del NE; c) con Viento moderado del NE seguido de viento fuerte del SE.

En la Figura 11 a Figura 14, se muestra un detalle de la vista en planta del campo de velocidades en la zona de descarga, donde se pueden observar las alteraciones que experimenta ante la presencia de una sudestada. En condiciones sin viento o con vientos suaves, el campo de velocidades rota desde el noroeste en pleamar hacia el sureste en bajamar, manteniéndose alineado con la costa tanto en pleamar como en bajamar. Bajo estas condiciones, en ambas zonas las velocidades son muy similares, con valores levemente mayores para la zona 1 en bajamar.

Sin embargo cuando comienza la sudestada se observan diferencias en las velocidades de ambas zonas, en la zona 1 el flujo se resiste a cambiar de dirección, de manera que sus intensidades durante la marea creciente van descendiendo y son superadas ampliamente por las intensidades de la zona 2, esta situación se invierte durante la bajante siendo en estos casos la velocidad de la zona 1 mayor a la de la zona 2.

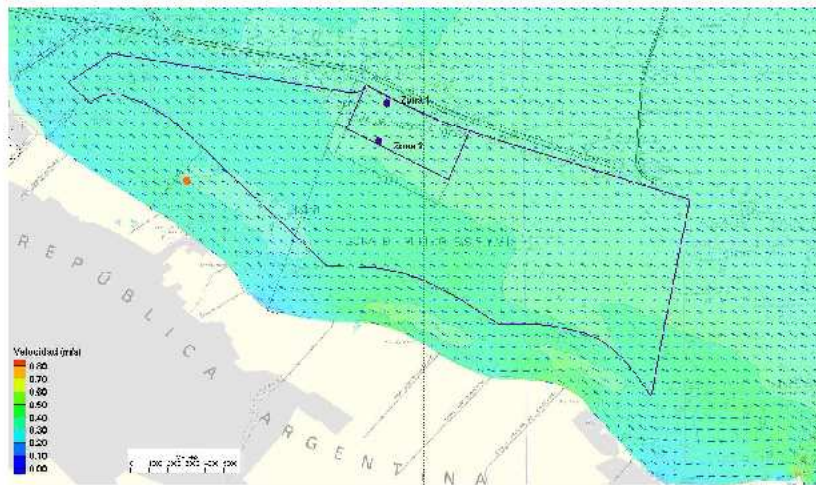


Figura 11. Campo de velocidades en pleamar, con condiciones normales de viento.

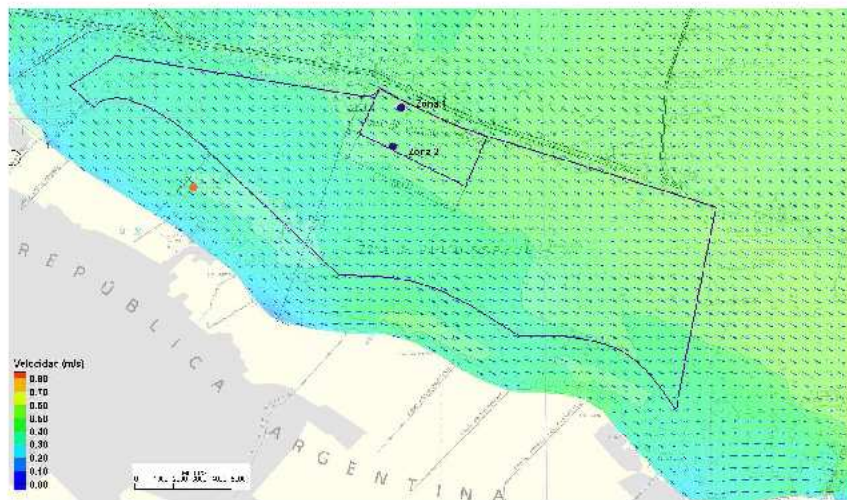


Figura 12. Campo de velocidades en bajamar, con condiciones normales de viento.

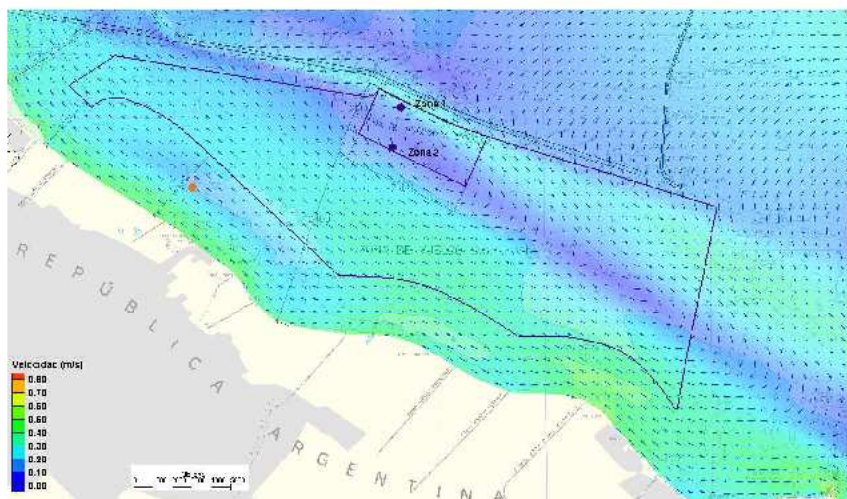


Figura 13. Campo de velocidades en sudestada, pleamar del día 6 a la hora 09:00 (hora 129 desde el inicio de la simulación).

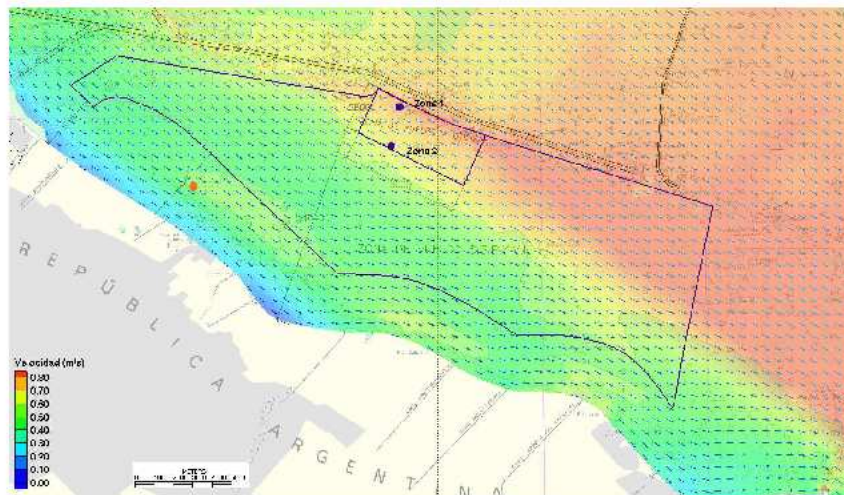


Figura 14. Campo de velocidades en sudestada, bajamar del día 6 a la hora 13:30 (hora 133 desde el inicio de la simulación).

CONCENTRACIONES DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN LA PLUMA DE REFULADO

En la Figura 15 a la Figura 17 se presenta el máximo avance que experimenta la pluma de sedimentos, en distintas direcciones de interés. Puede observarse que hacia el NE, el mayor avance se da durante marea creciente a pocas horas de iniciados los vientos del sureste (55 km/h de intensidad con una duración de 1,5 días). Hacia el SE el mayor desplazamiento, ocurre durante una estoa previa a la creciente con vientos del NE de magnitudes 25 km/h (1,5 días de duración). Finalmente, el máximo avance hacia la costa ocurre en el escenario sin vientos, en marea de estoa antes de bajante.

En líneas generales no se observa gran dispersión transversal en la pluma de sedimentos ya que el campo de velocidades obtenido para las 3 condiciones hidrodinámicas y el vertido alternado del material entre la zona 1 y la zona 2, no permiten la acumulación de sedimentos descargados durante las estoas. La dispersión transversal en la pluma es tal que a mayor velocidad de la corriente hay menor dispersión relativa, por lo que la mayor dispersión ocurre durante la estoa.

El desplazamiento de la pluma presenta algunas variantes en función del campo de vientos simulado, pero en todos los casos la ubicación de la pluma se encuentra a distancias mayores que 7 km, por lo tanto no se verifica afectación alguna de las tomas de agua ni de la zona costera.

En cuanto a las concentraciones de la pluma, si bien la mayor concentración, igual a 750 mg/lt, se da en el escenario con vientos fuertes del SE, no se observan grandes diferencias con los otros escenarios simulados.

Las mayores corrientes inducidas por el viento de magnitud 55 km/h producen un mayor arrastre de la pluma hacia aguas arriba, a pocas horas de iniciada la sudestada, luego en el transcurso de la sudestada las velocidades de la corriente durante las crecientes son mucho más bajas que durante la bajante, y no alcanzan para desplazar a la pluma más allá del borde norte de la zona de vuelco a utilizar.



Figura 15 Concentración de sedimento en la pluma producida por descargas puntuales (cada 3,5 horas), de mezcla conservativa de limo fino y arcilla. Máximo avance de la pluma hacia el NO.
Escenario con sudestada.

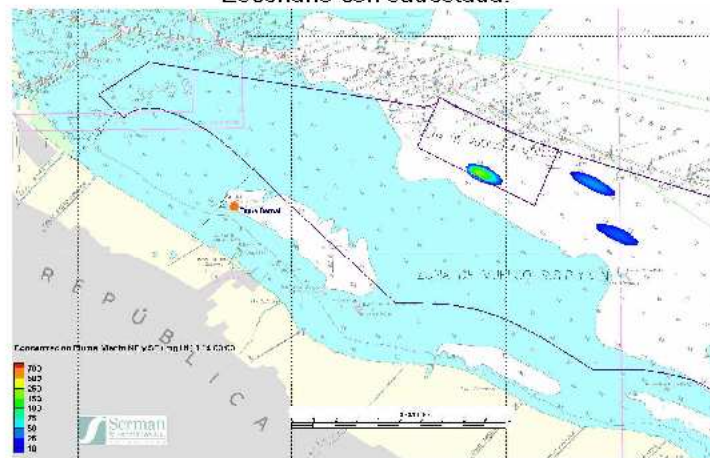


Figura 16 Concentración de sedimento en la pluma producida por descargas puntuales (cada 3,5 horas), de mezcla conservativa de limo fino y arcilla. Máximo avance de la pluma hacia el SE.
Escenario con viento del NE.



Figura 17 Concentración de sedimento en la pluma producida por descargas puntuales (cada 3,5 horas), de mezcla conservativa de limo fino y arcilla (25 km/h). Máximo avance hacia la costa.
Escenario Sin

CONCLUSIONES DE LA MODELACIÓN DE LA PLUMA DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN

No se observa una gran dispersión transversal de la pluma, la misma se desplaza en forma paralela a la costa, siguiendo el campo de líneas de corriente.

En el escenario sin viento, se produce el máximo acercamiento del borde de la pluma a la Toma de Agua de Bernal, quedando a una distancia de más de 7 km.

De acuerdo a los análisis realizados, para el caso de una marea media sin viento (o con vientos leves correspondientes a valores medios anuales) se verifica que la pluma no alcanza ninguna de las áreas sensibles de la zona. En conclusión, no se detecta un riesgo significativo de afectar negativamente las áreas sensibles.

El dragado fue realizado entre fines del año 2011 y principios del año 2012, efectuándose un monitoreo y vigilancia constante del mismo, sin que se registraran contingencias en la toma de agua de Bernal, de acuerdo a lo informado por AYSA.

REFERENCIAS

AIC Estudios y Proyectos S.R.L. – Ezcurra y Schmidt S.A (2010). . Dragado del Acceso al Puerto de Dock Sur Provincia de Buenos Aires. Informe final verificaciones in situ de parámetros para la gestión ambiental de Dragados Canal Sur.

CARP (1989). Estudio para la evaluación de la contaminación en el Río de la Plata.

Ackers, P., and White, W. R. (1973). "Sediment Transport: New Approach and Analysis" Journal of the Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers, No. HY11.

Ré, Mariano y Menéndez, Angel (2005) "Estudio de los Corredores de Flujo del Río de la Plata Interior con el Modelo RPP-2D". XX Congreso Nacional del Agua

Morris, Peter H. (2004) USER'S GUIDE FOR THE MSDOS-BASED ADDAMS PROGRAM MODULES STFATE V.5.01, LTFATE V.1.0 AND MDFATE V.1.1 IN THE MS WINDOWS ENVIRONMENT. CRC for Sustainable Tourism Pty Ltd 2004.

Serman & Asociados S.A. (1998): Conexión Física Rosario-Victoria- Convenio Gobierno Nacional – Provincias de Santa Fe y Entre Ríos- Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos de La Nación -Puentes Del Litoral S.A.: Estudio del Régimen Hidráulico del Río Paraná entre Diamante y Villa Constitución: Modelacion Hidrodinamica Unidimensional de Redes. G-G-ME-211.

US Army, Engineer Research And Development Center Waterways Experiment Station Coastal and Hydraulics Laboratory (2003a): Users Guide To RMA2 Version 4.5.

Van Rijn, L.C. (1984). "Sediment Transport, Part I: Bed Load Transport". Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. Vol. 110. No. 10.