

SIMULACIÓN DE LAS CONDICIONES DE SEDIMENTACIÓN EN UN ESTUARIO CON UNA SINGULARIDAD BATIMÉTRICA

Rodrigo Peixoto¹, Rodrigo Amado¹, Beatriz M. Marino², Luis P. Thomas² y Marcos Gallo¹

¹Área de Engenharia Costeira, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

²Grupo Flujos Geofísicos y Ambientales, CIFICEN, CONICET-UNCPBA, Pinto 399, 7000 Tandil, Argentina

E-mail: rodrigo.peixoto@poli.ufrj.br; rodrigoamado@oceanica.ufrj.br, marcosgallo@oceanica.ufrj.br,

bmarino@exa.unicen.edu.ar, lthomas@exa.unicen.edu.ar

Introducción

Los sedimentos (finos y gruesos) son transportados por los ríos hasta los océanos, pasando por los estuarios o deltas y en parte, sedimentando y afectando los canales de navegación al punto de requerirse costosos dragados periódicos para mantenerlos en condiciones navegables. El transporte de material particulado en suspensión en un estuario constituye un factor de interés debido a los cambios continuos experimentados en el tiempo y espacio por las partículas, su influencia en la dinámica morfológica del sistema y su influencia en los procesos fisicoquímicos y biológicos presentes. Una forma ventajosa de evaluar las consecuencias sobre los procesos hidrodinámicos potencialmente presentes es utilizando modelos numéricos. Así, es posible prever el comportamiento estuarino ante situaciones excepcionales, reales o hipotéticas, evaluar la gravedad de sus efectos y determinar tanto las áreas afectadas como el tiempo para retornar a la situación habitual, ayudando a establecer las estrategias de mitigación de daños más apropiadas en cada caso.

En este trabajo se reportan los resultados de simulaciones numéricas del comportamiento hidrodinámico y transporte de sedimentos en el tramo inferior del estuario del río Quequén Grande (ERQG), Buenos Aires, Argentina. Este estuario se caracteriza por un notorio salto de profundidad que separa el tramo natural de unos 3-5 m de profundidad del tramo que recorre los últimos 2km donde se localiza Puerto Quequén (Figura 1). Para mantener su operativa, la zona portuaria requiere mantener la profundidad en 12-14 m mediante dragados periódicos. Previamente, se utilizó el módulo de transporte de sedimentos lagrangiano del modelo *SisBahia* (Rosman, 2017) para encontrar las tendencias del transporte y sedimentación de los elementos inorgánicos en suspensión advectados a través del sistema (Thomas et al., 2016), en condiciones de descarga fluvial constante. En el presente estudio, se considera el tratamiento euleriano del transporte de sedimentos, los mecanismos de erosión y sedimentación, y la hidrodinámica estuarial. La descarga y el flujo de sedimentos aportados por el río ya no son constantes. Además se trabaja con dos tamaños de partículas para representar la carga de lavado y las arenas.

Metodología

Las simulaciones fueron realizadas usando el programa de modelación morfodinámica del sistema SisBaHiA (Rosman, 2017), con el módulo hidrodinámico acoplado al modelo de transporte de sedimentos. El modelo hidrodinámico considera las ecuaciones de Navier-Stokes con la aproximación de aguas someras para escurrimientos homogéneos integrados en la vertical. Por su parte, el modelo de sedimentos (Peixoto et al., 2017) considera las ecuaciones de transporte advectivo-difusivo y los flujos de erosión y sedimentación a través de las ecuaciones de Partheniades y Krone, respectivamente.

La Figura 1 presenta la malla para todo el dominio conformada por 738 elementos cuadrangulares isoparamétricos, de 9 nodos por elemento, con un total de 3287 nodos. La modelación hidrodinámica conlleva una condición de borde en la cabecera del estuario sobre el caudal del río (distribuido como caudales

específicos en cada nodo) y otra en el contorno abierto (mar) sobre la marea astronómica definida por sus constantes armónicas (Piccolo y Perillo, 1997). El valor de ks se determinó mediante expresiones empíricas que toman en cuenta la granulometría del lecho, con valor constante de 0.03 m. Se simula un tiempo total de 3 meses, suficiente para garantizar valores estables del modelo. El intervalo temporal de cálculo (Δt) es 30 s.

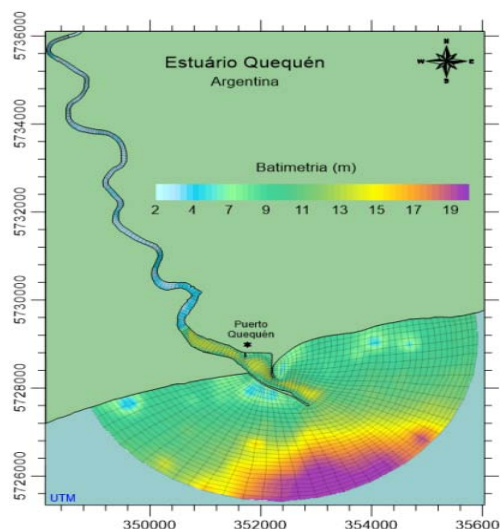


Figura 1.- Malla numérica usada en el tramo inferior del ERQG y batimetría.

Para el análisis de las condiciones de sedimentación se considera limo fino, que compone la carga de lavado y es el material dominante en el ERQG (Pereyra et al., 2014) (Sed1- 10 μm), y también las arenas (Sed2 – 90 μm). Se establecieron tres escenarios de modelación (Tabla 1), considerando diferentes aportes fluviales y cargas de sedimentos. El escenario 1 representa la condición más frecuente en el estuario con un caudal constante de 10 m^3/s y aporte solamente de carga de lavado. El escenario 2 representa una situación con concentración constante de sedimentos finos y carga de arena, con el hidrograma típico que se presenta después de una lluvia normal, y considerando un pulso de crecida de 3 días con caudal máximo de 50 m^3/s . El escenario 3 representa el caso de presentarse una concentración constante de finos y carga de arena, con un hidrograma extraordinario, y considerando un pulso de crecida de 5 días con caudal máximo de 170 m^3/s .

Tabla 1.-Escenarios de simulación planteados.

| | Caudal(m^3/s) | Concentración Sed1 (mg/l) | Concentración Sed2(mg/l) |
|---|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 10 | 10 | 0 |
| 2 | 10-50 | 10 | 0-10 |
| 3 | 10-170 | 10 | 0-10 |

Resultados

El modelo se calibró contrastando las series temporales de los

niveles del altura de la superficie del agua, las previstas y las modeladas, en la zona portuaria y los aforos medidos (Thomas et al., 2017) y calculados en una sección transversal dentro de la zona portuaria. Se encuentra que las componentes de marea dominantes son M2 y K1 con amplitudes de 0.38 m y 0.16 m, respectivamente. La comparación entre estos valores y los reportados por Piccolo y Perillo (1997) muestra diferencias inferiores al 10% en la amplitud y 5 min en la fase. Los valores de descarga en la zona portuaria durante el reflujos oscilan entre 50 y 120 m³/s, con mareas de cuadratura y sicigia, respectivamente. Durante la etapa de marea entrante, los valores de descarga oscilan entre 40 y 110 m³/s, con mareas de cuadratura y sicigia. La validez de los valores de caudal se realizó comparando con las descargas medidas (nov/2013 y mar/2015) en la sección transversal dentro de la zona portuaria. Las mediciones muestran una relación entre los valores obtenidos durante el reflujos y el flujo de 1.12, indicando la dominancia del reflujos. Esta relación es de 1.09 para los resultados del modelo.

Los resultados de la simulación hidrodinámica en los tres escenarios muestran la ausencia de variaciones significativas de las corrientes en la zona portuaria. Esto se debe a que los caudales fluviales simulados (constantes o con crecida) son aproximadamente del mismo orden que los del flujo entrante desde el mar por acción de la marea. También, gracias a los dragados, la región portuaria presenta secciones hidráulicas mayores que el resto del estuario y las corrientes disminuyen (Figura 2) en el sentido aguas arriba (0.3 - 0.5 m/s, según el caudal) - aguas abajo (0.10 - 0.15 m/s) del escalón.

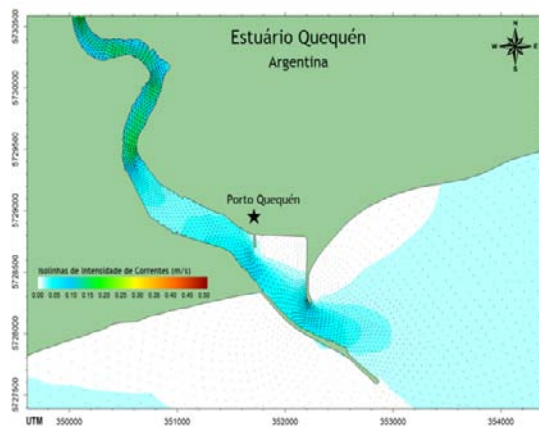


Figura 2.- Isocorrientes de intensidad de corrientes (escenario 1).

Se encuentra que, ante situaciones hidráulicas y sedimentológicas típicas (escenario 1), el ERQG ofrece una tendencia a depositar los sedimentos finos en la zona portuaria, preferentemente cerca del escalón de profundidad. Cuando se presentan caudales típicos (escenario 1), no se observa un comportamiento dinámico significativo de los sedimentos gruesos, lo que indicaría ausencia de arenas en suspensión a lo largo del estuario. Solamente durante las crecidas (escenarios 2 y 3) ocurre la movilización de esta clase de sedimentos.

Los episodios de crecida (escenarios 2 y 3) causan cambios en los patrones morfológicos, con erosión aguas arriba del escalón y sedimentación aguas abajo del mismo. Una vez finalizado el evento, el estuario retorna a su patrón normal (escenario 1). Los sedimentos se depositan siguiendo la típica secuencia que consiste en la decantación primero de las arenas y luego de los sedimentos finos (Figura 3). Las mayores alteraciones batimétricas observadas fueron aquellas causadas por la crecida extraordinaria simulada en el escenario 3 (Figura 3), con una altura total de sedimentación del orden de 0.10 m, dominada por sedimentos finos.

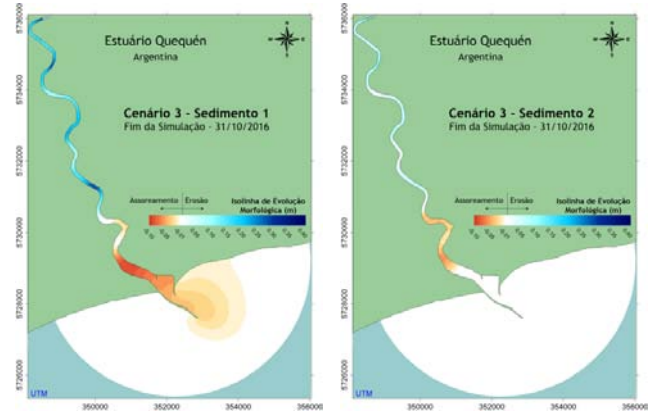


Figura 3.- Mapa de isobatemías que representa el resultado de la evolución batimétrica en el escenario 3 para el material fino (izquierda) y las arenas (derecha).

Conclusiones

El trabajo reportado constituye un significativo avance en la validación de una herramienta con cuya aplicación se espera dar respuestas a problemas instalados desde hace tiempo. Estos se relacionan con la comprensión del comportamiento de los elementos suspendidos, su incidencia en los mecanismos erosivos (aguas arriba del escalón) y sedimentarios (aguas abajo de escalón), y la predictibilidad de su transporte ante situaciones hidrológicas extremas (i.e., muy baja descarga fluvial o crecidas esporádicas y repentinas). Los resultados, por ejemplo, confirman las condiciones favorables para la sedimentación selectiva en la zona portuaria donde el dragado periódico es necesario para mantener la navegabilidad de los grandes buques cargueros de granos. El siguiente paso es establecer la tasa de acumulación y el patrón espacial de deposición.

Por otro lado, bajo condiciones de buen tiempo, el ERQG se comporta como un sistema de baja energía que puede favorecer la floculación y agregación del material fino, así aumentando la tendencia de las partículas suspendidas a la sedimentación. En este estudio, no se consideraron los efectos de la floculación en las simulaciones. Sin embargo, de los resultados reportados por Thomas et al. (2017), puede inferirse que el transporte y sedimentación de las arenas se correspondería con los de los flóculos, si bien los procesos de re-suspensión y movilidad serían diferentes. El abordaje de esta problemática constituye el siguiente desafío a enfrentar.

Referencias

- Peixoto R.S., Rosman P.C.C., Vinzon S.B. (2017). "A morphodynamic model for cohesive sediments transport." *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Vol. 22, e57.
- Pereyra M.G., Marino B.M., Szupiany R.N., Thomas L.P. (2014). "Hydrodynamics and sediment dynamics of an estuary with an abrupt depth step." *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 52, N° 4, pp. 532-544.
- Piccolo M.C., Perillo G. (1997). "Características de las mareas en Puerto Quequén." *Proceeding 19th Reunión Científica AAGG*, San Juan, Argentina.
- Rosman P. (2017). "Referência Técnica do SisBahia", <http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br>.
- Thomas L.P., Pereyra M.G., Gallo M.N., Marino B.M. (2016). "Calibración del modelo numérico SisBahia para el transporte de sedimentos en un estuario micromareal", *Proceeding del XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Lima, Perú.
- Thomas L.P., Marino B.M., Szupiany R.N., Gallo M.N. (2017). "Characterisation of the suspended particulate matter in an estuarine environment employing complementary techniques." *Continental Shelf Research*, Vol. 148, pp. 37-43.