

MIGRACIÓN DE DUNAS DURANTE EVENTOS EXTREMOS DEL RÍO PARANÁ

Serra Silvina G., Vionnet Carlos A.

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral

E-mail: sserra@fich1.unl.edu.ar, vionnet@fich1.unl.edu.ar

Introducción

Las dunas son el resultado de la continua interacción entre el flujo y el lecho arenoso del río al que pertenecen (ASCE 2002, Best 2004). Estas juegan un importante rol en el transporte de sedimentos de fondo (Van Rijn 1993), así como en la estructura turbulenta del flujo cerca del lecho. Importa conocer su evolución y movilidad en ríos navegables, donde pueden llegar a adquirir amplitudes tales que sus crestas crezcan por sobre los calados necesarios para la navegación (Van Rijn 1993), y sus valles comprometan la estabilidad de estructuras enterradas en el lecho.

En la presente comunicación se describe el tratamiento de una serie de datos provenientes de fajas ecográficas, correspondientes a relevamientos realizados durante las crecidas excepcionales de los años 1983, 1992 y 1998 en el tramo del río Paraná que contiene la traza del Túnel Subfluvial Hernandarias (Figura 1). El objetivo es estimar el transporte de sedimentos de fondo en condiciones de aguas altas usando el método de seguimiento de la migración de dunas (Van Rijn 1993), motivado por la dificultad intrínseca que presenta la ejecución de mediciones directas (Lelievre y Navntoft 1980). El método asume que el perfil longitudinal de una duna típica es asimétrico y la pendiente de la cara de avance forma un ángulo con el lecho cercano al de reposo del material mojado ($\approx 20\text{-}35^\circ$), donde se atrapan todas las partículas que viajan por la cara de aguas arriba. Una característica de los grandes ríos de llanura es la presencia de formas de fondo jerárquicas, o formas superpuestas a otras de mayor tamaño, que se pueden identificar por su mayor escala espacial como de Orden 1 ($O(1)$), mientras que las de menor rango se identifican como de Orden 2 ($O(2)$), y así sucesivamente. En el río Paraná es común observar la presencia de dunas de menor tamaño ($O(2)$) migrando sobre dunas de $O(1)$. Las de orden $O(1)$ pueden presentar una pendiente de su cara de avance cercana al ángulo de reposo del material (Amsler y Schreider 1992) u, ocasionalmente, un frente muy tendido. En este trabajo se utiliza una metodología que tiene en cuenta estas diferentes situaciones, puesto que el cálculo de transporte de material del fondo puede variar significativamente dependiendo de la forma de considerar el aporte al transporte de las ondas menores ($O(2)$).

Cálculo del transporte de fondo por el método de migración de dunas.

El tramo medio del río Paraná corre sobre un valle de escasa pendiente con cauce entrelazado. La Fig. 2 muestra perfiles del lecho relevados con ecosonda acústica durante las últimas tres grandes crecidas del río Paraná acaecidas en el siglo XX. Estos contienen las formas de fondo periódicas y de amplitud Λ que se desarrollan en el lecho del Paraná, las que bajo el supuesto que no cambien de forma, permiten calcular el transporte de fondo por unidad de ancho del cauce (L^2T^{-1}) con la bien conocida expresión

$$q_B = \frac{n}{2} c_B \Lambda \quad (1)$$

donde n es la fracción de material sólido del lecho ($=1-p$ donde p es la porosidad de la arena), y c_B es la celeridad de las dunas. La fórmula es válida para dunas triangulares, y puede ser derivada de la ecuación de conservación de la masa junto con una relación cinemática válida para ondas que viajan sin cambiar de forma (Van Rijn 1993).

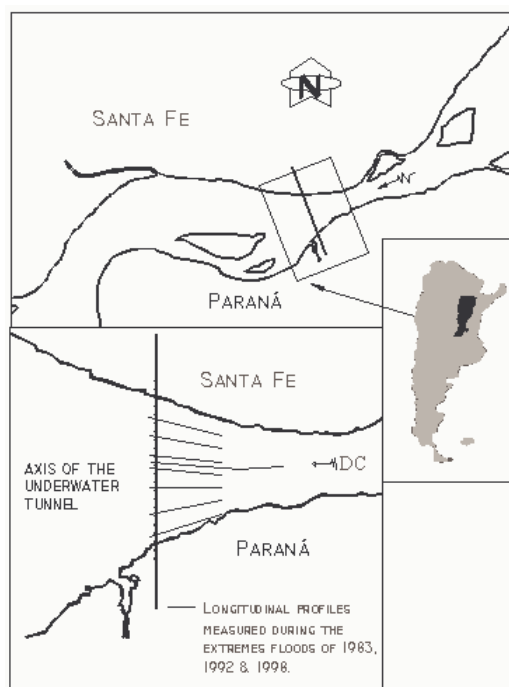


Figura 1. Río Paraná, área de análisis

Procesamiento de los datos.

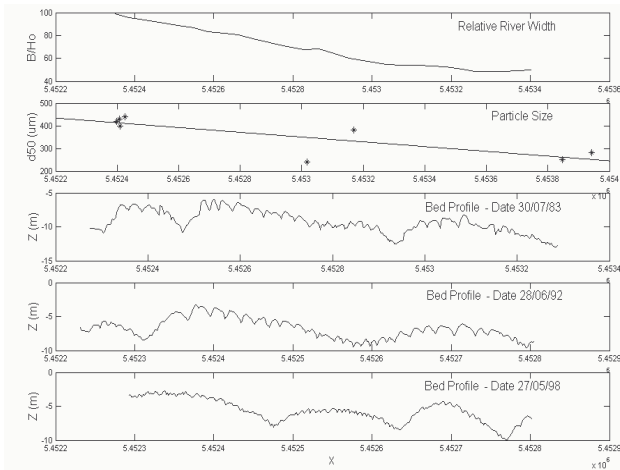
Las fajas ecográficas fueron recortadas respetando las zonas de desplazamiento de la embarcación a velocidad constante, luego cada trozo fue escalado, vuelto a pegar y georeferenciado en coordenadas Gauss-Krüger y cotas IGM. De esta manera, el par progresiva x y cota del lecho z fueron digitalizados con un incremento espacial de los puntos de 0.80 m. La Figura 2 muestra el resultado de este procedimiento para los relevamientos correspondientes a las crecidas de 1983, 1992 y 1998. También se muestra la variación de la geometría de la sección transversal debida a la expansión luego de la contracción (ver Fig. 1), y el tamaño medio de la partícula de sedimento. Se puede notar la diferencia entre la pendiente de la cara de avance de las dunas para las crecidas de 1983, 1992 y 1998 (pendiente abrupta para las dos primeras y suave para la última). Consecuentemente, si la pendiente de la cara de avance de la duna de $O(1)$ es cercana al ángulo de reposo del material, es razonable asumir que todo el material que pasa por sobre la cresta de la duna es capturado por la zona de

DE RÍOS

recirculación. De lo contrario, si la pendiente de la cara de avance de la duna de O(1) es suave, no habrá separación del flujo y una indeterminada cantidad de partículas se moverán hacia aguas abajo por sobre la cresta. De esta forma, una tasa constante de transporte de fondo deja de contribuir a la migración de las grandes dunas y la ecuación (1) debe ser modificada para tener ahora en cuenta el transporte adicional debido al escape de las dunas más pequeñas, o de O(2):

$$q_B = \frac{n}{2} c_{B_1} \Lambda_1 + f_2(c_{B_2}, \Lambda_2) \quad (2)$$

Donde los subíndices 1 y 2 hacen referencia a las dunas de O(1) y O(2), respectivamente. Para cuantificar la contribución de f_2 de las pequeñas dunas que se superponen a las mayores, se aplicó la fórmula de Sidorchuk (Vionnet 2004). A esos efectos, fueron separadas las dunas de O(1) y O(2) por el método de las Transformadas Discretas de Fourier (TDF).



$$\hat{z}(f; t) = \int_{-\infty}^{\infty} z(x, t) e^{i2\pi f x} dx \quad (3)$$

Donde f es la frecuencia espacial. Luego, es posible separar las dunas de O(1) de las de O(2) mediante una transformación previa de la serie completa de datos con la FFT (la forma rápida de calcular las TDF), multiplicando la salida de la FFT por una función filtro $H(f)$, y calculando la FFT inversa para volver al dominio físico. Una vez que se dispone de los datos filtrados, se obtiene el desplazamiento de las dunas de distinto orden por comparación de las series correspondientes a un mismo perfil medidas en distintos tiempos.

Resultados

Los resultados preliminares muestran que los ángulos de la cara de avance de las dunas observadas durante los eventos extremos analizados han ido cambiando por razones aún no muy bien entendidas. Es así como los máximos ángulos encontrados son de 9° a 10° para la crecida de 1983 y 1992 y de 3° a 6° para la de 1998. Los cálculos han demostrado que la contribución de la función f_2 en la Ec. 2 por la presencia de las dunas de O(2) puede llegar a representar el 40% de la carga de fondo total, cantidad que no se tendría en cuenta en el caso de aplicar la Ec. 1.

Conclusiones

Se ha descrito que el problema de calcular el transporte de fondo por el método de desplazamiento de dunas se complica por la migración de dunas superpuestas a dunas mayores. Consecuentemente, esta complicación puede resolverse mediante la aplicación de una metodología simple que permite calcular el transporte de fondo teniendo en cuenta la migración de formas de fondo jerárquicas, tomando ideas prestadas de la escuela Rusa, y cuyos lineamientos generales se describirán durante la conferencia.

Bibliografía

- ASCE. (2002). "Flow and transport over dunes", ASCE Task Committee on Flow and Transport, *J. Hyd. Eng.*, 127: 726-728.
- Best, J. (2004). "The dynamics and morphology of river dunes: synthesis and future research directions", In: Hulscher, Garlan & Idier (eds.), *Marine Sandwave and River Dune Dyn. II, Proc. Workshop*, Enschede, the Netherlands, 1-2 April 2004, I-VI.
- Lelievre, J. & Navntoft, E. (1980). "Measuring sediment load in the Paraná River". *Water Power and Dam Construction*, (April): 21-24.
- Schreider, M. I. & Amsler, M. L. (1992). "Bedforms Steepness in Alluvial Streams", *J. Hid. Res.*, Vol. 30. No 6: 725 – 743.
- Van Rijn, L.C. (1993). *Principles of sed. transp. in rivers, estuaries and coastal seas*. Aqua Pub. The Netherlands.
- Vionnet, C.A. (2004). "Estimates of bed load transport by a hierarchy of bedforms (a series of papers of A. Sidorchuk translated from Russian by P. Kurgansky)". Int. Report Ceneha 02-04, FICH, UNL, Santa Fe, Arg., May 2004.