

DETERMINACIÓN DE DIMENSIONES CARACTERÍSTICAS, DESPLAZAMIENTOS Y EVOLUCIÓN TEMPORAL DE DUNAS EN EL RÍO URUGUAY.

A. R. S. Nardin¹, C. López Weibel^{2,3}, R. N. Szupiany^{2,3} y C. A. Arcelus¹

¹Comisión Administradora del Río Uruguay - República Oriental del Uruguay.

²Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas – Universidad Nacional del Litoral – Argentina.

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET) – Argentina.

E-mail: anardin@caru.org.uy

Introducción

La cuenca del río Uruguay es el segundo sistema fluvial en importancia dentro de la cuenca del Plata (Paoli et al., 2000), no obstante y a pesar de su actual aprovechamiento en materia de navegación, extracción de áridos, pesca, hidroenergía y otros, aún se tiene un bajo nivel de conocimiento respecto a su funcionamiento hidrosedimentológico. A la fecha, y relativo al tamaño de las formas de fondo presentes en el lecho del río, solo existen estudios de ingeniería encargados por la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (2004) y la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU, 2010) para el desarrollo de la vía navegable. No obstante, los enfoques utilizados son puramente ingenieriles y los estudios carecen de mediciones suficientes para extraer características del cauce y su evolución temporal.

En el marco del proyecto de dragado ejecutándose entre Nueva Palmira (Km 0) y Paysandú (Km 206.8), y de los esfuerzos de la CARU por desarrollar la vía navegable, se comenzaron a generar herramientas para el procesamiento de la creciente cantidad de información batimétrica que será relevada en este contexto.

Teniendo en cuenta el escenario actual, se requerirá en los próximos años de un procesamiento rápido y sistemático de la información obtenida, a los efectos de poder gestionar eficientemente la vía navegable y las tareas de dragado sobre la base de un mayor conocimiento de la dinámica hidrosedimentológica. Por este motivo es objetivo del presente realizar una aplicación práctica de una metodología rápida para el análisis de información batimétrica, y evaluar sus resultados para la determinación de tamaño y forma de dunas, así como también su desplazamiento. Estos resultados serán densificados en una etapa posterior para la obtención de valores de transporte de sedimento de fondo, y variabilidad de las formas de fondo presentes respecto de los distintos escenarios hidrométricos.

Metodología

En respuesta al objetivo surge la implementación del algoritmo presentado por van der Mark y Blom (2007), y su aplicación a una secuencia de mediciones batimétricas para 4 líneas preestablecidas, realizadas entre junio y diciembre de 2017, en el paso de navegación San Francisco, frente a la ciudad de Colón, Entre Ríos, Argentina (Figura 1).

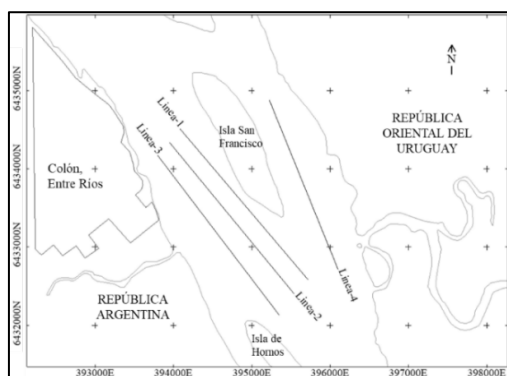


Figura 1.- Ubicación y líneas de relevamiento.

Este algoritmo consiste en la determinación automática de los tamaños de dunas presentes en un perfil longitudinal, a través de la aplicación de diferentes tipos de filtros de señales, y análisis del espectro de potencia de los perfiles longitudinales.

Asimismo, se aplicó la función de correlación cruzada entre dos perfiles longitudinales consecutivos para la determinación de su desplazamiento (Δx) como se describe en Nordin (1971). Esta determinación se realizó sobre la base del perfil longitudinal original (PLO), de dichos perfiles una vez que se removió la tendencia del fondo (PLD), de los perfiles PLO luego de ser filtrados para la eliminación de las señales de alta frecuencia - rizados y errores de medición - (PLF), y por último sobre el perfil simplificado (PLS) que fue construido solo con los valles y picos de las dunas.

Los resultados obtenidos por estos métodos fueron contrastados con los obtenidos por el método tradicional de seguimiento de dunas con perfiles batimétricos (observación y medición manual de dimensiones características y desplazamientos), y evaluados en el contexto del transcurso temporal entre mediciones.

Resultados

Determinación de dimensiones características y desplazamiento de dunas por el método tradicional

Este método para la determinación de dimensiones características y desplazamiento de dunas se usó durante mucho tiempo a falta de capacidad computacional para el procesamiento. No obstante, aún se utiliza como método de calibración de los algoritmos automatizados (e.g. Zorndt et al., 2010).

En este caso, el método fue aplicado a 3 relevamientos durante el año 2017 a saber: 1) 29 de junio, 2) 30 de junio y 3) 6 de julio. Se determinaron las dimensiones características medias de dunas (altura H y longitud λ) para el período entre los relevamientos 1 y 2, y el período entre los relevamientos 1 y 3. En la Tabla 1 se observa lo obtenido.

Para dichos periodos inter-relevamientos se midieron los desplazamientos totales de dunas observados (Δx) los cuales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1.- Resultados del método manual.

| Entre relevamientos 1 y 2 | | | | Entre relevamientos 1 y 3 | | | |
|---------------------------|---------|---------------|----------------|---------------------------|---------|---------------|----------------|
| Línea | H [m] | λ [m] | Δx [m] | Línea | H [m] | λ [m] | Δx [m] |
| 1 | 0.87 | 57.96 | | 1 | 0.88 | 58.52 | 2.75 |
| 2 | 1.15 | 51.18 | 1.79 | 2 | 1.17 | 51.73 | 7.07 |
| 3 | 0.45 | 74.02 | | 3 | 0.48 | 74.77 | 5.85 |
| 4 | 1.03 | 42.19 | 1.09 | 4 | 1.03 | 42.17 | 2.41 |

Determinación automática de dimensiones características

Se aplicó un programa basado en el algoritmo de van der Mark y Blom (2007), y se obtuvieron los resultados de la Tabla 2. De la información expuesta en las tablas 1 y 2, se infiere que existió una diferencia importante en la determinación de las características de las dunas en el perfil 1, y errores de entre el 5% y el 25% en los demás valores. Esto se debe particularmente, a que sobre la línea 1 no se observaron formas de fondo bien definidas como en los otros perfiles.

Tabla 2.- Resultados del método automático para la determinación de longitudes características.

| Relevamientos 1 y 2 | | | Relevamientos 1 y 3 | | |
|---------------------|-------|---------------|---------------------|-------|---------------|
| Línea | H [m] | λ [m] | Línea | H [m] | λ [m] |
| 1 | 1.20 | 97.73 | 1 | 1.17 | 94.95 |
| 2 | 1.10 | 49.74 | 2 | 1.11 | 48.28 |
| 3 | 0.50 | 73.68 | 3 | 0.56 | 77.45 |
| 4 | 1.28 | 53.50 | 4 | 1.28 | 53.46 |

Determinación automática del desplazamiento de dunas

A continuación se exhiben los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología descripta.

Tabla 3.- Resultados del método automático para la determinación de desplazamiento de dunas.

| Línea | Relevamientos 1 y 2 - 1 día transcurrido | | | |
|-------|--|--------|--------|--------|
| | Δx [m] | | | |
| | PLO | PLD | PLF | PLS |
| 1 | 0.00 | -0.08* | -0.10* | -1.85* |
| 2 | 0.00 | 0.11 | 0.34 | 1.08 |
| 3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.16 |

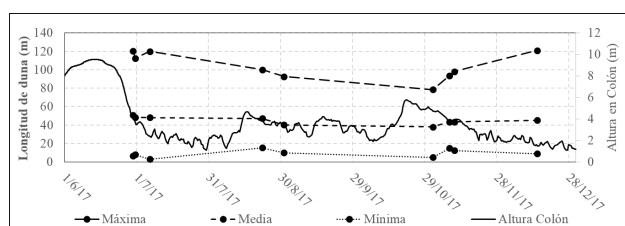
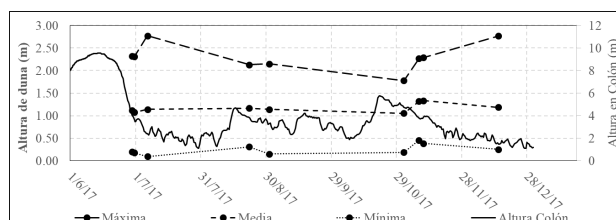
| Línea | Relevamientos 1 y 3 - 7 días transcurridos | | | |
|-------|--|------|------|--------|
| | Δx [m] | | | |
| | PLO | PLD | PLF | PLS |
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -1.46* |
| 2 | 3.79 | 5.98 | 5.85 | 6.93 |
| 3 | 0.00 | 5.36 | 4.56 | 3.42 |
| 4 | 0.33 | 1.24 | 1.30 | 1.90 |

Para los valores señalados con asterisco (*) en la Tabla 3 se verificó que los desplazamientos observados no fueron hacia aguas arriba, sino que estos valores fueron errores propios del procesamiento de las señales al no identificarse ningún patrón concreto del desplazamiento.

Se observó además, que los mejores resultados respecto a los dados en la Tabla 1 se obtuvieron con la versión simplificada PLS, salvo en el caso de la línea 3. Sobre esto se infiere que es causal por la poca definición de las formas de fondo en la línea 3, mientras que en las líneas 2 y 4, el tren de dunas se identificó claramente con formas más típicas y fácilmente individualizables.

Evolución temporal

A modo de ejemplo, se muestra a continuación, en las Figuras 2 y 3, las longitudes características de un conjunto de nueve mediciones realizadas sobre la línea 2 (Figura 1), en el período junio-diciembre de 2017. En las figuras 2 y 3 se exhibe como variable de referencia la altura en el puerto de la ciudad de Colón. Allí, si bien aún no se ha indagado en las relaciones causa-efecto, se aprecia la potencialidad de la herramienta para evaluar cambios morfológicos a mediano plazo originados por eventos hidrológicos.

**Figura 2.-** Evolución temporal de la longitud de duna.**Figura 3.-** Evolución temporal de la altura de duna.

Conclusiones

Se logró aplicar exitosamente el algoritmo de van der Mark y Blom (2007) para mediciones realizadas en el río Uruguay. Con esto se desarrolló una potente herramienta para la determinación automática de dimensiones características de las dunas presentes. Asimismo, se observó que comparativamente con el método manual, el algoritmo automatizado produce resultados con un error aceptable cuando los perfiles longitudinales presentan formas de fondo claramente identificables y bien definidas.

Con respecto al desplazamiento de dunas, se logró obtener por el método de correlación cruzada (Nordin, 1971) los desplazamientos del tren de dunas. Se observaron menores errores, relativos al cálculo manual, para los perfiles longitudinales simplificados (PLS), con las mismas consideraciones que el párrafo anterior.

En cuanto a la evolución temporal, si bien esta porción del trabajo es incipiente, se demostró la potencialidad de la metodología aplicada para la evaluación a futuro de la respuesta morfológica de los distintos escenarios hidrometeorológicos.

Referencias bibliográficas

- Comisión Administradora del Río Uruguay (2013). Proyecto De Dragado y Balizamiento Del Río Uruguay Desde El Km 0 Al Km 187,1, Incluyendo El Canal De Acceso Al Puerto De Concepción Del Uruguay Y Los Canales Entre El Km 187,1 Y El Km 206,8 Puerto De Paysandú.
- Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (2004). Estudios Complementarios de Navegación – Diseño de una Hidrovía Fluvial Desde Punta Gorda (Km 0) Hasta Paso De Los Libres (Km 573) - Desarrollo Regional y Mejora de la Navegabilidad del Río Uruguay.
- Nordin C.F. (1971). "Statistical Properties of Dune Profiles" Sediment Transport In Alluvial Channels. Geological Survey Professional Paper 562-F. United States Government Printing Office, Washington, 1971.
- Paoli C., Iriondo, M. y García N. (2000). "Capítulo 1: Características de las cuencas de aporte" en C. Paoli y M. Schreider (eds.): El río Paraná en su tramo medio. Tomo I: 27-68. Colección Ciencia y Técnica, Santa Fe, Universidad Nacional del Litoral.
- van der Mark, C. F., and A. Blom (2007). "A new and widely applicable tool for determining the geometric properties of bedforms". CE&M Research Report 2007R-003/WEM-002 ISSN 1568-4652, University of Twente, Enschede, Netherlands.
- Zorndt A., Wurpts A., Schlurmann, T., Ohle N. and Strotmann T. (2010). "Dune Migration and Sand Transport Rates in Tidal Estuaries: The Example of the River Elbe". Proceedings of 32nd Conference on Coastal Engineering, Shanghai, China, 2010.

Agradecimientos

Se agradece a la Comisión Administradora del Río Uruguay por el apoyo logístico y económico para el desarrollo de 2 campañas que fueron realizadas en el marco de la beca CARU de la autora Cecilia López Weibel. Asimismo, se agradece al Departamento de Navegación, Navegabilidad y Obras de la CARU por la realización de varios de los relevamientos batimétricos correspondientes al presente trabajo.