

PERFILES DE TAMAÑO DE FLÓCULOS EN AMBIENTES CON ALTAS CONCENTRACIÓN Y VARIABILIDAD DEL MATERIAL SUSPENDIDO

Luis P. Thomas, Beatriz M. Marino y Giuliano E. Thomas

Grupo Flujos Geofísicos y Ambientales, CIFICEN, CONICET-UNCPBA, Pinto 399, 7000 Tandil, Argentina.
E-mail: bmarino@exa.unicen.edu.ar, lthomas@exa.unicen.edu.ar, giulianothomas@hotmail.com

Introducción

El transporte y la sedimentación del material particulado en suspensión (MPS) en canales, arroyos, ríos y estuarios constituyen procesos esenciales a considerar en la resolución de múltiples problemas ambientales e ingenieriles. Para abordarlos se requieren mediciones confiables y obtenidas con buena resolución espacio-temporal como las proporcionadas por los métodos acústicos no-intrusivos basados en una correlación entre la concentración del MPS y la intensidad de la señal acústica retrodispersada. Estos métodos fueron exitosamente aplicados en sistemas con predominio de arenas en el MPS (Moore et al., 2013; Latosinsky et al., 2014; Venditti et al., 2016). El backscatter acústico multi-frecuencia incorpora el efecto del tamaño del grano en el proceso de scattering y proporciona tanto la distribución de la concentración como el tamaño de las partículas suspendidas. Su utilidad fue probada en ríos con diferentes condiciones hidro-sedimentológicas como el Po (Italia - Guerrero y Lamberti, 2011), el Paraná (Argentina - Guerrero et al., 2013) y el Danubio (Hungría - Guerrero et al., 2016). En estos casos, el flujo suele considerarse estacionario y las partículas finas (carga de lavado) dominan la atenuación de la señal acústica retrodispersada. Entonces es posible realizar una calibración estacionaria entre el coeficiente de atenuación viscosa y la concentración de la fracción fina (Latosinski et al., 2014).

Cuando la concentración del MPS es importante, los ADCPs que operan a 1200 kHz o a mayores frecuencias son muy sensibles a pequeñas variaciones de tamaño lo cual cambia drásticamente la atenuación y por tanto los resultados. En estuarios, los procesos de floculación alteran el tamaño de las partículas dispersoras y sus velocidades de deposición en tiempos comparable a los de una medición. Además, los flujos estuarinos son no-estacionarios debido a la acción mareal, lo que también ocasiona la variación temporal de la concentración y el tamaño de las partículas. En consecuencia, la determinación del tamaño de los flóculos en función de la profundidad debe realizarse simultáneamente con las mediciones del backscatter, y en un tiempo muy breve (≈ 1 min).

Thomas et al. (2017) emplearon los registros simultáneos del backscatter de dos ADCPs que operan a diferentes frecuencias, considerando la absorción de las partículas suspendidas en la columna de agua, para determinar el tamaño de flóculos con alto contenido orgánico en un estuario estratificado y poco dinámico. En este caso, la intensidad medida de la señal acústica retrodispersada de cada ADCP se correlaciona empíricamente bien con la concentración del MPS ya sea directa (mediante muestreos óptico-difractivos) o indirectamente (mediante muestreos físicos), debido a que los flóculos son mayormente responsables del backscatter. Sin embargo, en presencia de variaciones importantes de las distribuciones de concentración y tamaño de las partículas suspendidas, la cuantificación de la atenuación del sonido debido al MPS se complica y la técnica mencionada no aporta resultados satisfactorios.

En este trabajo, proponemos una corrección a la forma de calcular la atenuación del método de los dos ADCPs aplicado por Thomas et al. (2017). Como consecuencia, se da adecuada respuesta al problema de obtener los perfiles de concentración y tamaño de las partículas suspendidas en sistemas de aguas

salobres donde varían rápidamente en tiempo y en profundidad. La metodología desarrollada considera el tamaño medio de las partículas en cada celda, la integración en profundidad de la atenuación producida por los elementos suspendidos, y las densidades de los flóculos y el agua. Finalmente, se obtiene la información requerida para mejorar el conocimiento de los procesos sedimentarios en ambientes complejos usando técnicas acústicas.

Metodología

Las mediciones fueron realizadas durante un trabajo de campo entre el 23 y 24 de agosto 2016 en la zona portuaria del estuario del río Quequén Grande (Buenos Aires, Argentina). Dos ADCPs *Workhorse Río Grande* de 600 y 1200 kHz (*Teledyne RD Instruments*) se colocaron sobre el mismo lado de una pequeña embarcación en reposo para obtener información simultánea de la intensidad del backscatter de la columna de agua. Los perfiles de la concentración en volumen C_v y del tamaño también se determinaron con un difractor LISST-25X (*Sequoia Sci. Inc*). Las señales de backscatter medidas con cada ADCP se promediaron durante el tiempo (≈ 5 min) en el que también se medía con el LISST-25X. Los valores de concentración obtenidos por los ADCPs y el difractor se correlacionaron para encontrar las correspondientes curvas de calibración. Una sonda multi-paramétrica *Horiba U-50* se empleó para determinar los perfiles de temperatura y salinidad.

Para el cálculo de la atenuación α_{vs} de la señal acústica debida a la presencia del MPS se aplica un proceso iterativo que comienza con una estimación de los perfiles iniciales $d(h)$ y $C_v(h)$ para el ADCP de 600 kHz, hasta lograr como resultado $d(h)$. Aquí d es el diámetro de las partículas suspendidas y h es la profundidad. El resultado final no depende de los perfiles iniciales usados. El cálculo de α_{vs} posibilita obtener la intensidad del backscatter $RL+2TL$ para cada nivel de profundidad, mientras $C_v(h)$ surge de la curva de calibración.

$$RL + 2TL = \xi \log_{10}(C_v) + \zeta,$$

donde $\xi \neq 10$ y ζ son coeficientes empíricos que resultan del ajuste entre las mediciones de la intensidad del backscatter del ADCP y C_v obtenido con el LISST-25X. El proceso se repite hasta que los perfiles de concentración converjan a un perfil que se encuentre dentro de un cierto rango de error. El mismo proceso se realiza con los registros del backscatter del ADCP de 1200 kHz. Puesto que la atenuación de la intensidad del backscatter del ADCP de 1200 kHz es mayor cuanto más grande es el tamaño de los flóculos, la convergencia de $C_v(h)$ para dicha frecuencia es más lenta. Una vez que los perfiles de $RL+2TL$ se obtienen para ambos ADCPs, se calcula $d(h)$ con

$$(RL+2TL)_{1200kHz} - (RL+2TL)_{600kHz} + G = \xi \log_{10} \left(\frac{f_{s1200}}{f_{s600}} \right)^2$$

donde G es una constante que depende de ξ . Luego, este perfil se ingresa como dato para repetir los cálculos. Realizadas unas pocas iteraciones, $d(h)$ y $C_v(h)$ se obtienen consistentemente con el cálculo de la atenuación.

Resultados

Las curvas de calibración de ambos ADCPs, obtenidas de mediciones realizadas durante el flujo mareal (la fase más crítica) usando el método tradicional para calcular la atenuación, permiten encontrar los perfiles de tamaño de los flóculos mostrados en la Fig. 1. Observar que sólo se consiguen resultados para $h < 5$ m, con considerable dispersión y bastante lejos de los respectivos valores medios proporcionados por el difractorómetro. Tales diferencias entre los perfiles acústicos estarían indicando un cambio importante en las características del flujo.

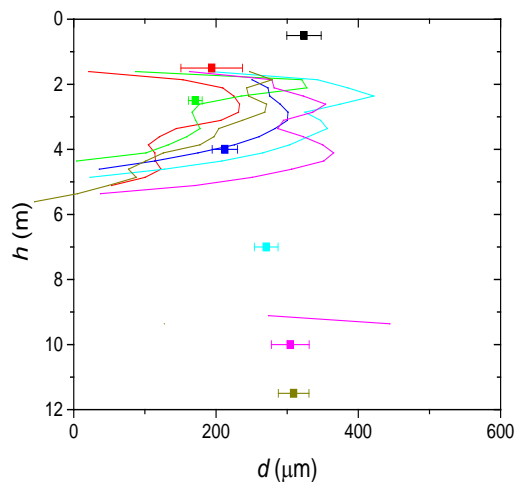


Figura 1.- Perfiles de tamaño de flóculos determinados por el método de los dos ADCPs (líneas continuas) para diferentes intervalos de tiempo durante la fase de marea entrante, calculando la atenuación a partir de los valores medios determinados con el LISST-25X (■). Cada color indica las mediciones realizadas al mismo tiempo.

La Fig. 2 muestra los perfiles de tamaño de flóculos en toda la columna de agua donde hay registros del backscatter de los ADCPs, obtenidos aplicando la nueva metodología de cálculo de la atenuación de las ondas acústicas. Sucesivas iteraciones tienen lugar hasta que el perfil de tamaño usado para calcular la atenuación de la señal del backscatter es el mismo perfil obtenido como resultado. Como los perfiles cambian con el tiempo, el perfil para el cual los resultados convergen es diferente en cada tiempo, y también es diferente del proporcionado por el difractorómetro. Es decir, cada perfil tomado como dato de entrada coincide con el perfil resultante que, a su vez, concuerda razonablemente bien con las mediciones del LISST-25X.

Conclusiones

La obtención de los perfiles de tamaño en sistemas acuáticos dominados por flóculos de concentración y composición variables y por flujos no-estacionarios contribuye a la mejor comprensión de los mecanismos sedimentarios allí presentes. La principal ventaja de la técnica aplicada que permite lograr estos perfiles con buena resolución espacio-temporal es el breve tiempo (del orden de segundos) necesario para su aplicación. Esta condición facilita detectar cambios que podrían permanecer escondidos cuando se realizan mediciones discretas, nivel por nivel de profundidad, como las proporcionadas por los difractorómetros. Una desventaja del uso de ADCPs para este propósito es la necesidad de contar con una relación entre $RL+2TL$ y C_v , por lo que una técnica complementaria u otro instrumento es requerido. El difractorómetro es especialmente útil para medir in situ el tamaño de las partículas suspendidas y

proporciona C_v directamente para usar en el cálculo de la atenuación. Esta información puede también obtenerse midiendo la concentración en peso a partir de muestreos físicos; aunque, en este caso, las modificaciones experimentadas por los *scatterers* en el tiempo transcurrido entre la recolección de la muestra y su análisis en laboratorio deben tomarse en cuenta. Además, la densidad de los elementos suspendidos en el momento de la extracción debe conocerse (o medirse). Esta es una tarea difícil cuando los *scatterers* son flóculos ya que la densidad depende del tamaño, de otras características de las partículas (e.g. composición), y del esfuerzo de corte generado por el flujo.

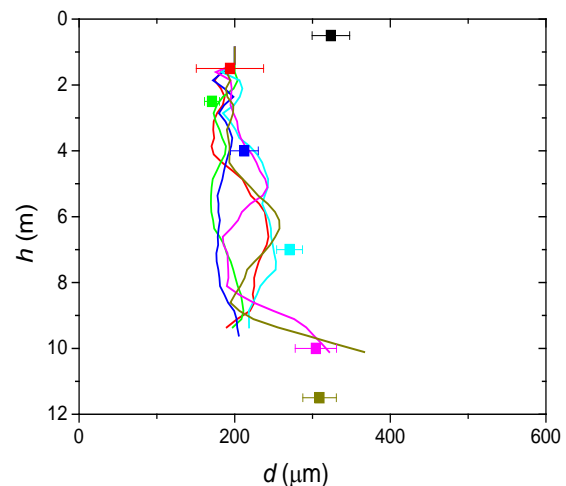


Figura 2.- Perfiles de tamaño de los flóculos determinados por el método de los dos ADCPs (líneas continuas) para diferentes intervalos de tiempo durante la fase de marea entrante, aplicando la nueva metodología. Por comparación se disponen las mediciones con LISST-25X (■) para los tiempos respectivos (igual color).

Referencias

- Guerrero M., Lamberti A.** (2011). "Flow field and morphology mapping using ADCP and multibeam techniques: Survey in the Po River." *J. Hydraulic Eng.*, Vol. 137, No. 12, pp. 1576–1587, doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000464.
- Guerrero M., Szupiany R.N., Latosinski F.** (2013). "Multi-frequency acoustics for suspended sediment studies: an application in the Parana River." *J. Hydraul. Res.*, Vol. 51, No. 6, pp. 696–707.
- Guerrero M., Rütther N., Szupiany R., Haun S., Baranya S., Latosinski F.** (2016). "The Acoustic Properties of Suspended Sediment in Large Rivers: Consequences on ADCP Methods Applicability". *Water*, Vol. 8, No. 13; doi:10.3390/w8010013
- Latosinski F., Szupiany R.N., García C.M., Guerrero M., Amsler M.L.** (2014). "Estimation of Concentration and Load of Suspended Bed Sediment in a Large River by Means of Acoustic Doppler Technology." *J. Hydraulic Eng.*, 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000859, 04014023.
- Moore S.A., Le Coz J., Hurther D., Paquier A.** (2013). "Using multi-frequency acoustic attenuation to monitor grain size and concentration of suspended sediment in rivers". *J. Acoust. Soc. Am.* vol. 133, No. 4, pp. 1959–1970.
- Thomas L.P., Marino B.M., Szupiany R.N., Gallo M.** (2017). "Characterisation of the suspended particulate matter in an estuarine environment employing complementary techniques". *Continental Shelf Research*, Vol. 148, pp. 37–43.
- Venditti J.G., Church M., Attard M.E., Haught D.** (2016). "Use of ADCPs for suspended sediment transport monitoring: An empirical approach". *Water Resour. Res.*, Vol. 52, doi:10.1002/2015WR017348