

VARIABILIDAD LONGITUDINAL DEL FLUJO EN CANALES CON INFLUENCIA BATIMÉTRICA Y TOPOGRÁFICA

Mario Cáceres¹, Arnoldo Valle-Levinson², Juan Fierro¹, Mónica Bello¹ & Manuel Castillo¹

¹ Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile,

² Center for Coastal Physical Oceanography, Department of Ocean,
Earth and Atmospheric Sciences, Old Dominion University, Norfolk, USA

INTRODUCCIÓN

El intercambio de flujos en regiones de umbrales y constricciones determina las propiedades del fluido en las cuencas separadas por dichos rasgos morfológicos. A pesar del importante cuerpo de literatura existente para explicar estos intercambios en términos de salto hidráulico (Farmer & Freeland, 1983; McClimans, 1990; Bryden & Kinder, 1991), modificaciones al flujo barotrópico (Farmer & Armi, 1986; Hibiya & Leblond, 1993; Helfrich, 1995), y otros aspectos de la variabilidad longitudinal del flujo, existe poca información observacional de alta resolución espacial sobre la distribución de los flujos residuales en torno a estos rasgos batimétricos y costeros. El propósito de este estudio es documentar y describir la distribución de velocidades residuales y amplitudes de las corrientes de marea en transectos longitudinales sobre constricciones y umbrales en tres sitios de canales del sur de Chile.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se efectuaron mediciones de corrientes con Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) para estudiar la variabilidad longitudinal del flujo en el canal Ninualac, canal Darwin y constricción de Meninea, XI Región (Figura 1). Las mediciones de ADCP fueron realizadas con un instrumento RD Instruments WH de 307,2 kHz mirando hacia abajo, instalado en un catamarán de 3 m de largo, remolcado a una velocidad máxima de 5 nudos por el AGOR. “Vidal Gormaz”. Se efectuaron repeticiones de un transecto longitudinal en los tres sitios indicados, durante períodos de muestreo continuo por 12,5 horas. Los datos de ADCP fueron obtenidos en celdas verticales espaciadas cada 4 m, hasta un alcance máximo de 110 m de profundidad, con promedio de los datos cada 30 segundos. Los datos de navegación fueron obtenidos con un GPS ASHTEC Z-12.

En la constricción de Meninea (Figura 2a), el 21 de noviembre de 2002 se efectuaron 7 repeticiones del transecto longitudinal de 12 km, cubriendo la región más somera (aprox. 60 m). En la angostura del canal Darwin (Figura 3a), el 14 de julio de 2002, se realizaron 12 repeticiones del transecto de 3,5 km de largo, el cual cubrió la región más somera de 100 m de profundidad en su sector oeste. En el acceso occidental del canal Ninualac (Figura 4a), el 12 de julio de 2002, se efectuaron 7 repeticiones del transecto de 7,5 km de largo, cubriendo también la región del oeste más somera (aprox. 100 m de profundidad).

Los datos de compás del ADCP fueron corregidos siguiendo el método de Joyce (1989) y los datos erróneos de velocidades fueron removidos siguiendo el procedimiento explicado por Valle-Levinson & Atkinson (1999). La señal semidiurna de la marea, representada por la constituyente M_2 con un período de 12.42 horas, fue separada de la señal

submareal de los componentes del flujo observado usando análisis de regresión sinusoidal de mínimos cuadrados (ver Lwiza *et al.*, 1991). La señal submareal representó la media de las 12 horas de observación.

Datos de viento fueron obtenidos a bordo durante la realización de las repeticiones y desde una estación terrestre ubicada en isla Mitahues (Asterisco en Figura 1), la que operó durante el período septiembre 2001 – 14 de noviembre 2002.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La motivación del presente estudio era conocer la variabilidad longitudinal del flujo en tres regiones de umbrales y/o constricciones del mar interior de Chile, y estimar la importancia de los rasgos del flujo residual en la hidrodinámica observada.

En la constricción de la isla Meninea (Figura 2a) se observa, en la distribución de los flujos medios (o residuales) (Figura 2b), una delgada capa superior que no supera los 15 m de profundidad, evidencia del flujo de salida hacia el norte probablemente atribuido al efecto de los aportes de agua dulce que llegan a la cuenca sur de la isla Meninea. Esta capa desaparece sobre la región más somera. Una segunda capa de flujo de entrada hacia la cuenca sur es evidente entre los 15 y 40 m de profundidad en toda la sección, y domina sobre la región somera. Esta segunda capa podría atribuirse al efecto de la marea. Efectos de salto hidráulico al sur del promontorio también podrían deducirse de esta distribución. Una tercera capa de flujo hacia el norte es también evidente en la región profunda, la que podría estar relacionada con efectos del viento sobre 10 nudos desde el norte, que generan un flujo compensatorio a través de un mecanismo explicado por Valle-Levinson *et al.* (2002). La tendencia del flujo a rotar en el sentido de los punteros del reloj, evidenciado en las capas cercanas al fondo, sobre el umbral en la Figura 2c, donde los valores positivos muestran flujo hacia el Este y negativos hacia el Oeste, sugiere una influencia de la línea de la configuración de la línea de costa sobre este efecto. Las amplitudes de la corriente de marea, con valores máximos de hasta 70 cm/s sobre el umbral (Figura 2d), sugieren mezcla por efecto de la marea en la región somera.

En el canal Darwin (Figura 3a), la distribución de velocidades medias (o residuales) (Figura 3b), muestra un flujo neto de entrada (hacia el Este) en la capa superficial hasta los 100 m, que alcanza valores de hasta 50 cm/s. La no evidencia de un flujo de salida neto sugiere que este sistema podría presentar flujos de salidas en otra región de la sección transversal, no evidenciados en este muestreo longitudinal, de una manera similar a lo observado en canal Chacao, otro canal altamente energético (Cáceres *et al.*, 2003). Los altos valores de velocidades residuales son también similares a los observados en este ejemplo de canal Chacao, lo que sugiere que el flujo estaría fuertemente influenciado por efectos no lineales derivados de la batimetría y de la línea de costa. La distribución de las velocidades transversales en la sección a lo largo del canal (Figura 3c), sugieren una tendencia del flujo hacia el sur en las capas inferiores (valores positivos) y hacia el norte en las capas superiores hacia el Este del promontorio, en la región más angosta del canal. Las altas velocidades (sobre 2 m/s) observadas en las amplitudes máximas (Figura 3d), fueron también encontradas en asociación con la ubicación del sector más estrecho del canal.

En el acceso occidental del canal Ninualac (Figura 4b), los flujos medios muestran una tendencia del flujo de entrada a dominar en toda la columna de agua sobre la región somera, situación que se modifica hacia el interior del canal, al aparecer un flujo de salida débil (no mayor de 5 cm/s), en la capa superficial. El flujo de entrada se mantiene en una segunda capa bajo los 60 m de profundidad. Las máximas amplitudes de las corrientes de marea (Figura 4c) no superan los 80 cm/s y se encuentran asociadas a la región somera. La distribución de las amplitudes máximas, similar a la del flujo residual de entrada en la Figura 4b, sugiere que el origen del flujo residual de entrada podría ser atribuido al efecto de la marea.

En resumen, los tres sistemas estudiados muestran diferencias y similitudes. Mientras el umbral en la constricción de Meninea muestra la típica distribución vertical en dos capas de un ambiente estuarino, modificada por la acción del viento para generar un flujo compensatorio en el fondo, en los otros dos canales estudiados las dos capas no son evidentes. La lejanía de las fuentes de agua dulce puede estar influyendo en la menor importancia de los gradientes de presión baroclínico en los canales Darwin y Ninualac. Asimismo, mientras el canal Darwin constituye un sistema altamente energético, con corrientes sobre los 2 m/s, en los otros dos sistemas las velocidades máximas no superan los 80 cm/s. En los tres sistemas, sin embargo, se observó evidencia de fuerte mezcla por efecto de la marea sobre los umbrales, situación típica en los intercambio de flujo sobre estos rasgos batimétricos.

REFERENCIAS

- Bryden, H. L., & T. H. Kinder. Recent progress in strait dynamics, US. Natl. Rep. Int. Union Geod. Geophys., 1987-1990, *Rev. Geophys.* 617-631, 1991
- Cáceres, M. , A. Valle-Levinson, H. Sepúlveda & K. Holderied. Transverse variability of flow and density in a Chilean fjord. *Continental Shelf Research*, 22, 1683-1698, 2002.
- Cáceres, M., A. Valle-Levinson & L. Atkinson. Observations of cross-channel structure of flow in an energetic tidal channel. *Journal of Geophysical Research*, vol.108(c4), 11-1: 11-10, 2003.
- Farmer D. M. & H. J. Freeland. The physical oceanography of fjords, *Progress in Oceanography*, 12: 147-220, 1983.
- Farmer, D. M. & L. Armi. Maximal two-layer exchange over a sill and through the combination of a sill and contraction with barotropic flow, *Journal of Fluid Mechanics*, 164: 53-76, 1986.
- Hibiya, T. & P. H. Leblond. The control of fjord circulation by fortnightly modulation of tidal mixing processes, *Journal of Physical Oceanography*, 23: 2042-2052, 1993.
- Helfrich, K. R. Time-dependent two-layer hydraulic exchange flows. *Journal of Physical Oceanography* , 25(3), 359-373, 1995.
- Joyce, T. On in situ Acalibration of shipboard ADCPs. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 6: 169-172, 1989.

- Lwiza, K. M. M., D. G. Bowers, & J. H. Simpson. Residual & tidal flow at a tidal mixing front in the North Sea. *Continental Shelf Research*, 11(11), 1379-1395, 1991.
- McClimans, T. A. Role of laboratory experiments and models in the study of sea strait processes, in *The Physical Oceanography of Sea Straits*, edited by L. J. Pratt, pp. 373-388, Kluwer Academic, Hingham, Mass., 1990.
- Valle-Levinson, A. & L. P. Atkinson. Spatial gradients in the flow over an estuarine channel. *Estuaries*, 22 (2A), 179-193, 1999.
- Valle-Levinson, A., F. Jara, C. Molinet & D. Soto. Observations of intratidal variability of flows over a sill/contraction combination in a Chilean fjord. *Journal of Geophysical Research*, vol . 106 (c4): 7051-7064, 2001.
- Valle-Levinson, A., J. Blanco & J. Fierro. Observations of wind effects on exchange flows in a channel constriction of the Chilean Inland Sea. Proceedings of the Second Meeting on Physical Oceanography of Sea Straits, Villefrance, 233-227, 2002.

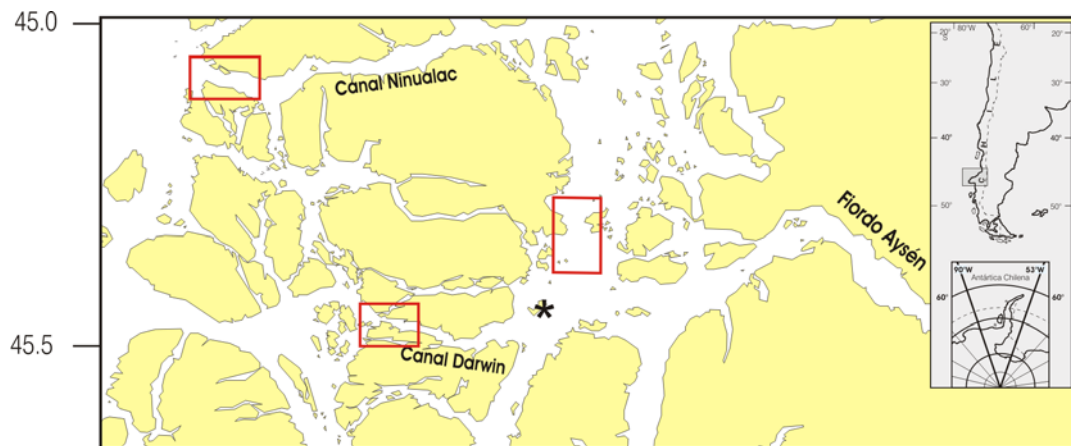


Figura 1. Áreas de estudio.

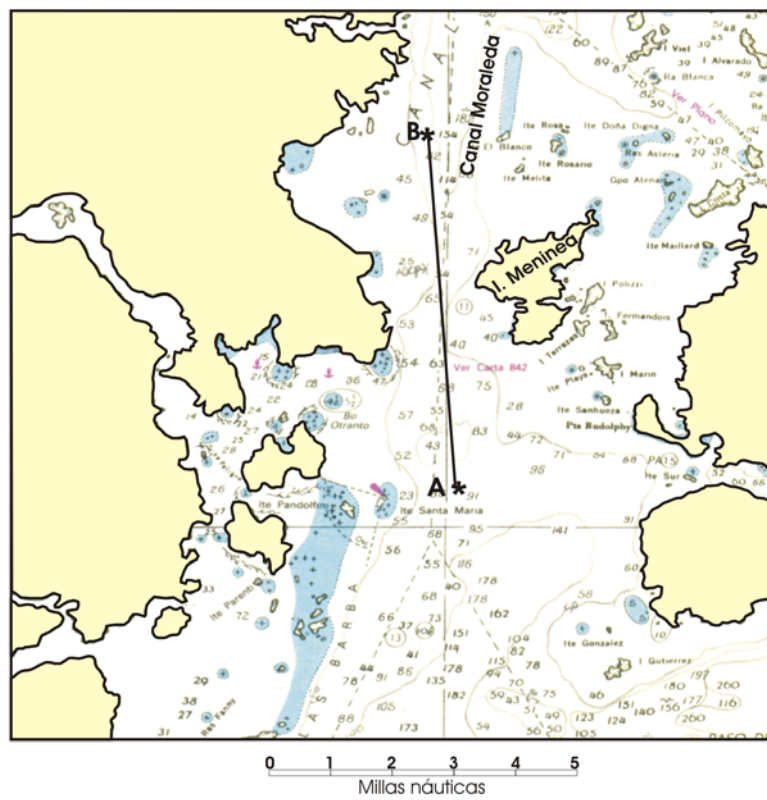
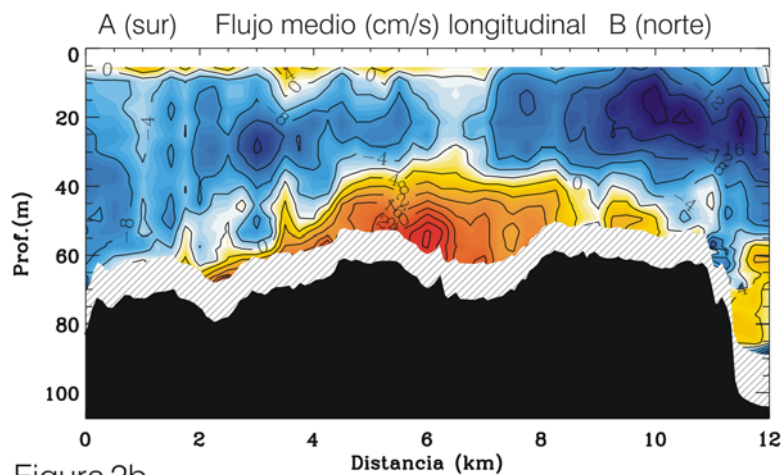


Figura 2a. Constricción de Meninea



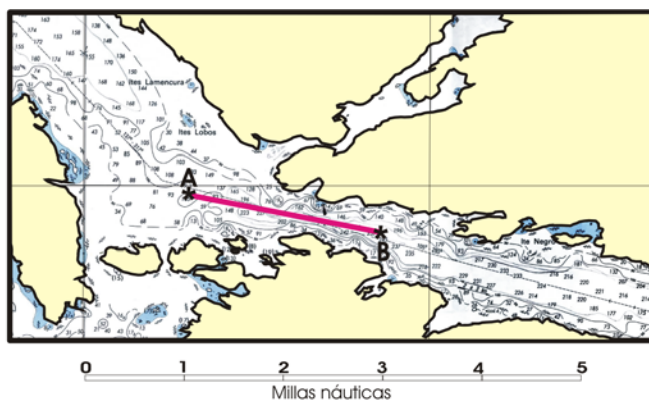


Figura 3a. Canal Darwin.

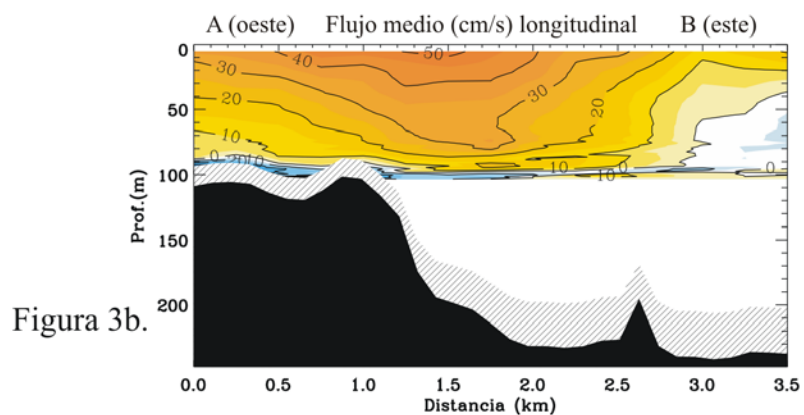


Figura 3b.

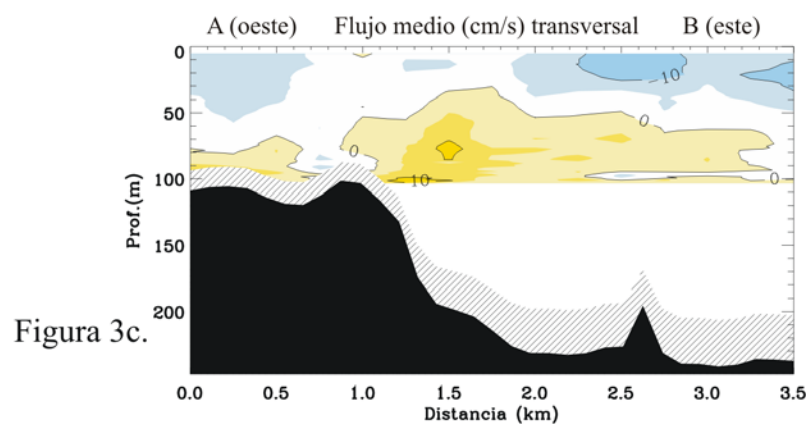


Figura 3c.

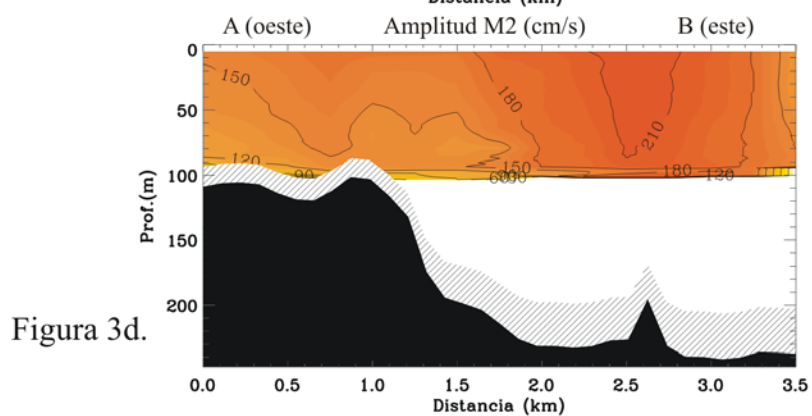


Figura 3d.

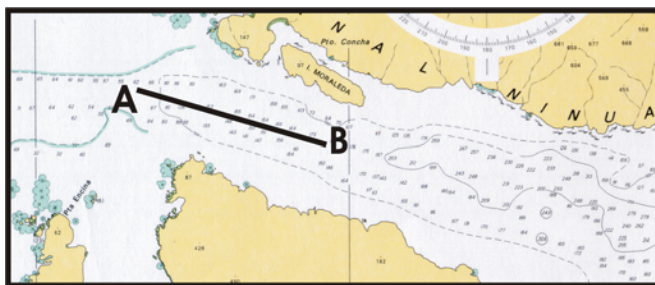


Figura 4a. Canal Ninualac.

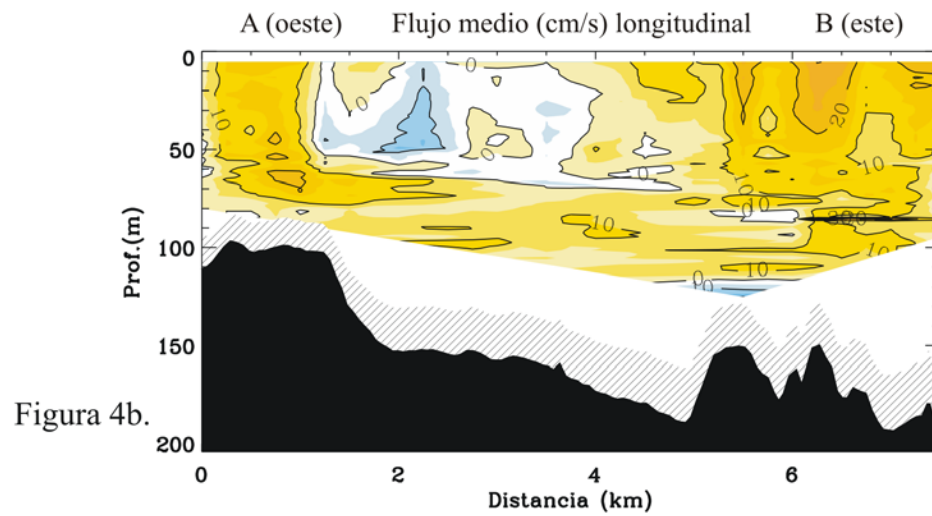


Figura 4b.

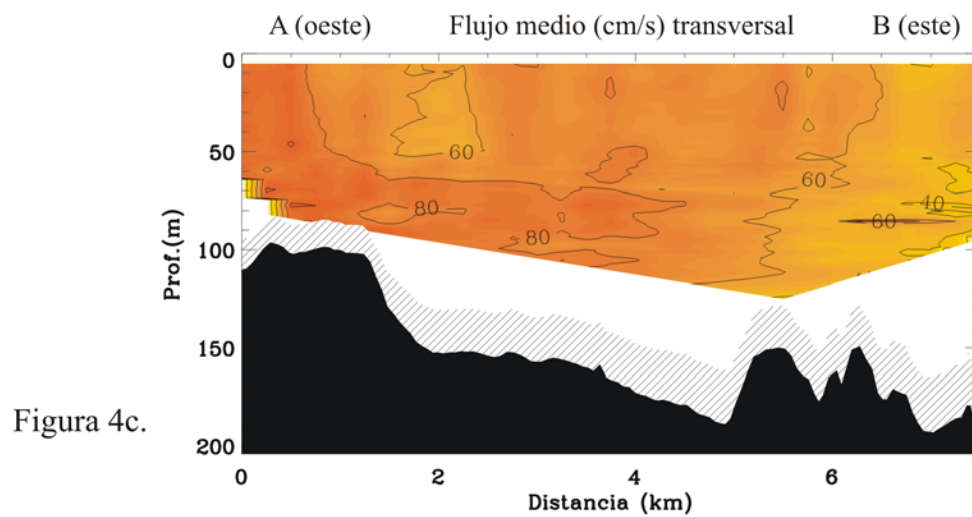


Figura 4c.