

BANCO ARENOSO EN UN AMBIENTE ESTUARIAL: RASGOS DE FONDO Y DINÁMICA SEDIMENTARIA

Laura G. VECCHI^{1,2}, Silvia Susana GINSBERG^{1,2} y Salvador ALIOTTA^{1,3}.

¹ Instituto Argentino de Oceanografía. CCT- BB CONICET, Camino La Carrindanga km. 7. C.C 804, (8000) Bahía Blanca. Emails: lvecchi@criba.edu.ar, ginsberg@criba.edu.ar, gmaliott@criba.edu.ar

² Universidad Tecnológica Nacional. FRBB. Departamento de Ingeniería Civil. 11 de Abril 461 (8000) Bahía Blanca.

³ Universidad Nacional del Sur. Departamento de Geología, San Juan 670 (8000) Bahía Blanca.

RESUMEN

Los bancos de arena son rasgos comunes en la boca de los canales de marea del estuario de Bahía Blanca (sur de la provincia de Buenos Aires). Este estudio tiene por objetivo incrementar el conocimiento sobre los procesos y mecanismos de formación y mantenimiento de los bancos estuariales. La investigación se centró en un banco elongado, de 4 km de largo, ubicado en la boca del canal La Lista, denominado banco La Lista. A través de datos acústicos (ecosonda y sonar lateral) se determinaron rasgos morfológicos de fondo. Estos, conjuntamente con muestras de sedimento y mediciones de corrientes, posibilitaron definir la hidrodinámica y el transporte sedimentario. La arena movilizada desde el interior del canal La Lista por la corriente de bajante constituye la principal fuente de sedimento del banco. Sobre el flanco norte del banco, el transporte neto de arena como carga de fondo se produce hacia el sureste debido a la corriente de reflujos. Aquí, el transporte de sedimento estimado fue de $0,02188 \text{ gr cm}^{-1} \text{ seg}^{-1}$. En oposición, en el flanco sur, la dominancia del flujo produce un transporte de $0,00451 \text{ gr cm}^{-1} \text{ seg}^{-1}$. Por lo tanto el mantenimiento del banco es el resultado de una asimetría de flujo/reflujo sobre sus flancos, generándose un transporte sedimentario residual en sentido horario. En consecuencia en los últimos años el banco ha experimentado cambios en la configuración de la cresta y crecido vertical y longitudinalmente.

Palabras clave: *Banco arenoso, Formas de fondo, Corrientes de marea, Transporte de sedimento.*

ABSTRACT: *Sandbanks in a tidal environment: Bottom features and sedimentary dynamics.* Tidal sandbanks are sedimentary features commonly found at the inlets of the tidal channels of Bahía Blanca Estuary (south Buenos Aires Province). To improve our understanding of the processes and mechanisms responsible for the formation and maintenance of the tidal sandbanks in estuaries, we carry out this study. We focus in a tidal sandbank located at La Lista channel mouth, denominated La Lista bank. It has an elongate shape with 4 km long. Bathymetric surveys, side-scan sonar records, grain-size characteristics of bottom sediment and bottom current measurements were used to define the hydrodynamics and sediment transport. Ebb-dominant current is the source of sand for this its south face is flood dominated, whereas the opposite face is ebb dominated, resulting in a clockwise residual transport. The rate of net bedload sediment transport estimated on the southern side of the sandbank is $0.00451 \text{ g cm}^{-1} \text{ sec}^{-1}$ in the flood direction and on the northern side is $0.02188 \text{ g cm}^{-1} \text{ sec}^{-1}$ in the ebb direction. Over the last years the shape of this bank have undergone several modifications and the accumulation of sand resulted in the lengthwise and elevation growth of it.

Keywords: *Sandbank, Bedforms, Tidal current, Sediment transport.*

INTRODUCCIÓN

Los bancos de arena son rasgos importantes que juegan un rol significativo en la defensa natural costera, en la navegación y como fuente de sedimento marino. Son básicamente cuerpos sedimentarios elongados, cuya morfología resulta de la interacción de diversos factores (corrientes de marea, energía de ola, fuente de sedimento, clima, geometría de la cuenca). Estos cuerpos pueden ser simé-

tricos o asimétricos en sección transversal, alcanzando a medir, en algunos casos, varios kilómetros de longitud, unos pocos metros de ancho y unas decenas de metros de altura (Trentesaux *et al.* 1999). Para su formación es necesario que exista una adecuada fuente de arena y un régimen hidrodinámico capaz de movilizar el sedimento (Pattiaratchi y Collins 1987, Hanna y Cooper 2002). Existen varios tipos de bancos arenosos y numerosas teorías relacionadas con su

origen y dinámica, pudiendo ser activos o moribundos, encontrándose los primeros en aguas someras. Se considera que algunos de ellos tienen un origen mareal (Houbolt 1968, Caston 1972), mientras que otros han sido asociados con fenómenos relacionados a tormentas, al ascenso postglacial del nivel del mar y a regímenes hidráulicos particulares (Swift 1975). Por consiguiente éstos pueden ser divididos en rasgos relictos, los cuales se formaron en un periodo del nivel del mar

más bajo, y en activos, formados en respuesta al régimen hidrodinámico y sedimentario actual.

Hoy en día existe poco consenso en la clasificación de los bancos mareales, debido al escaso conocimiento sobre su génesis. Es por esto que se reconocen diversas clasificaciones (Swift 1975, Amos y King 1984, Dalrymple y Rhodes 1995, Dyer y Huntley 1999), las cuales tienen en cuenta diferentes atributos como posición en el área, la forma que adquieren en planta, y orientación relativa al flujo de la corriente.

El origen, estabilidad y evolución de los bancos ha sido extensamente estudiado en áreas de plataforma continental (Houbolt 1968, Caston 1972, Huthnance 1982 a y b, Swift 1975). En los estuarios, los cuales son una fuente natural de sedimento, los bancos están ampliamente desarrollados (Ludwick 1974, Swift y Ludwick 1976) sin embargo su conocimiento y entendimiento es escaso y limitado. Según Dalrymple y Rhodes (1995), en estos últimos ambientes, los cuerpos arenosos se forman en zonas donde no hay un transporte longitudinal neto de sedimento. Así, en los sectores de canales de marea donde el transporte residual de flujo y reflujo presentan direcciones opuestas son áreas óptimas para su formación. La ubicación de los bancos es determinada por la geomorfología general del estuario, la cual controla la distribución de los canales de flujo y reflujo. Mallet *et al.* (2000) consideran que deben prevalecer tres condiciones importantes para la formación de bancos mareales: (1) suministro de sedimento; (2) agentes de transporte (Chappell y Woodroffe 1994); y (3) una zona de entrapamiento.

En general, se considera que en el estudio de la dinámica sedimentaria en un estuario es importante conocer el estado de equilibrio que tienen los bancos de arena con las condiciones hidrodinámicas actuales, incluso de aquellos que se han formado durante los niveles más bajos del mar. La capacidad de predecir el comportamiento de los mismos, es trascendental para lograr un buen manejo costero del

sistema. Así, la dinámica de los sedimentos en el estuario de Bahía Blanca (sur de la provincia de Buenos Aires) proporciona las condiciones necesarias para la formación de bancos longitudinales. Dado que los canales mayores que integran el estuario se constituyen en importantes fuentes de material, en la zona de su desembocadura se desarrollan extensos bancos longitudinales.

Estudios previos en el estuario de Bahía Blanca referidos a la dinámica y origen de bancos mareales, son escasos. En general estas investigaciones abarcan la zona del amplio delta de reflujo presente en la boca del estuario (Aliotta 1987), el cual está formado por grandes bancos arenosos. Así, podemos mencionar el estudio llevado a cabo por Montañez Santiago (1971) quien evaluó el comportamiento migratorio de estos bancos y canales marginales. Por otro lado, Perillo y Cuadrado (1991) analizaron la evolución geomorfológica del canal El Toro y los bancos linderos al mismo. Gómez y Perillo (1992), estudiaron la geomorfología y evolución de un banco lineal localizado en la plataforma adyacente a la boca del estuario. Por otra parte, en el interior del estuario, Ginsberg y Perillo (2004) al investigar la dinámica de canales de marea, hacen referencia a los cuerpos arenosos que se formaron en la boca de los mismos. Lizasoain (2007) analizó las formas de fondo y estableció la migración de un gran cuerpo arenoso (banco Punta) que se desarrolló contiguo al canal de navegación. Según Ginsberg (1991), los canales de marea del estuario de Bahía Blanca son dominados por las corrientes de reflujo, encargadas de movilizar el material hacia el exterior. Parte de este sedimento es fuente de alimentación a los bancos desarrollados en la boca de los canales. Por lo tanto, predecir el comportamiento de los bancos es fundamental al momento de realizar una evaluación morfodinámica del sistema estuarial. El objetivo de este estudio, es profundizar la comprensión de los procesos y mecanismos involucrados en la formación y mantenimiento de un banco mareal. Para ello el trabajo se

enfocó particularmente en una de estas geoformas, en la cual se definirá la hidrodinámica, el transporte de sedimentos y las tendencias morfoevolutivas. Paralelamente, este estudio aportará nuevos elementos que permitan ampliar el grado de conocimiento relacionado con el tema.

AREA DE ESTUDIO

El estuario de Bahía Blanca, ubicado al sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina) posee una planicie costera de 3.000 km², conformada por un sistema interconectado de canales de marea de diversas dimensiones (Fig. 1). El régimen de marea es semidiurno con una amplitud media de 3 m (Nedeco-Arconsult 1983), por lo cual se clasifica al estuario como mesomareal. En su canal Principal las corrientes son reversibles con escasa dispersión angular, con una velocidad superficial máxima de 1,3 m s⁻¹ y un promedio máximo integrado verticalmente de 1,2 m s⁻¹ y 1,05 m s⁻¹ para condiciones de reflujo y flujo, respectivamente (Nedeco-Arconsult 1983, Serman 1985). El canal Principal, ruta de acceso a uno de los complejos portuarios y petroquímicos más importantes del país, posee una longitud aproximada de 60 km. En este canal las corrientes de bajante establecen un transporte neto de material arenoso como carga de fondo hacia el exterior del estuario (Aliotta y Perillo 1987, Cuadrado *et al.* 2003) originando sobre la plataforma marina adyacente grandes bancos arenosos, que constituyen un amplio delta de reflujo (Aliotta 1987).

Dentro del sistema estuarial se desarrollan canales secundarios de diferente magnitud (Ginsberg 1991). Los canales más pequeños circulan a través de las llanuras de marea desembocando en los canales mayores, mientras que estos últimos fluyen hacia el canal Principal. En la parte central del mismo se ubica el canal de navegación, profundizado en el año 1989 por tareas de dragado (Lizasoain 2007). En general, los canales de marea juegan un rol importante, ya que controlan la dispersión del material, facilitando el in-

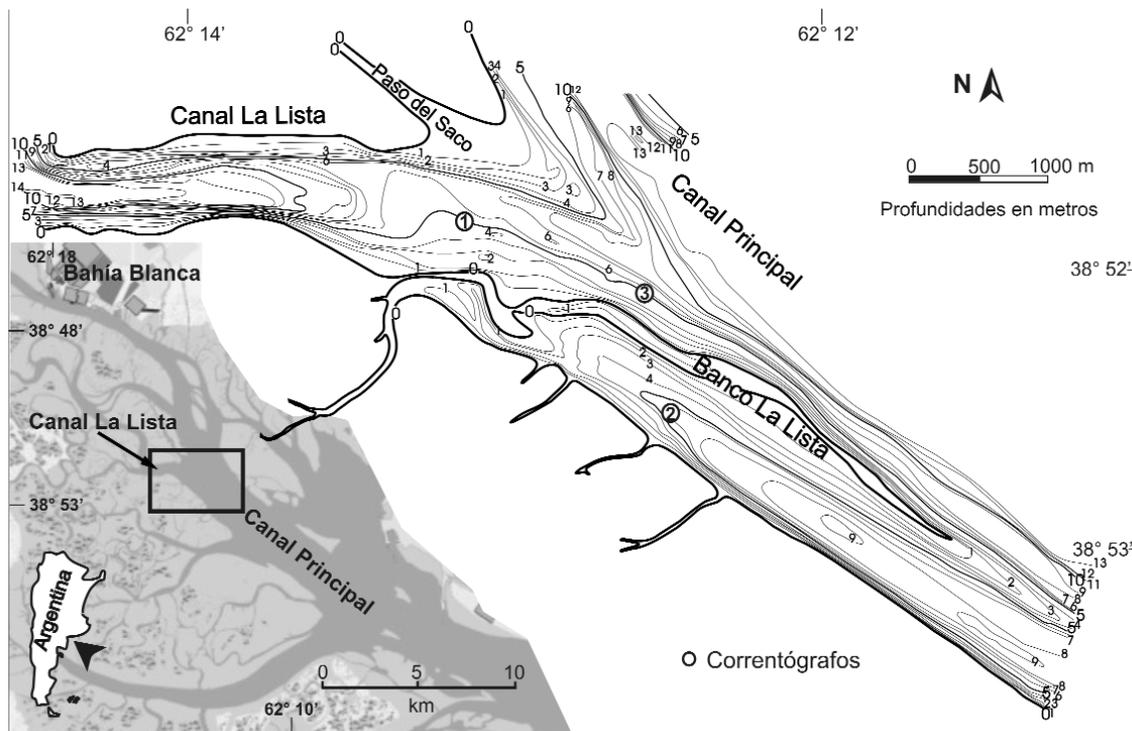


Figura 1: Mapa de ubicación y carta batimétrica del sector de estudio. Localización de los correntógrafos.

tercambio de sedimentos entre las llanuras de marea y el ambiente marino. Un estudio regional conducido por Ginsberg y Perillo (2004), demuestra que los procesos erosivos causan una importante migración lateral de los canales hacia el norte.

Los canales secundarios poseen cursos que tienden a ser rectos o levemente sinuosos, con profundidades superiores a los 10 m y un ancho en la boca que llega a superar 1 km. Los canales menores tienen generalmente cauces meandrosos, con un ancho y una profundidad de hasta un metro. Sus márgenes están formadas por amplias llanuras intermareales y sus fondos poseen diferentes características sedimentológicas y rasgos morfológicos. En general, la corriente de marea actuante en los canales es reversible, con velocidades máximas en promedio de $0,80 \text{ m s}^{-1}$ y de $1,2 \text{ m s}^{-1}$ para flujo y reflujo respectivamente. Evaluaciones de la duración de las mismas indican que en promedio el flujo demora 7 h, mientras el reflujo dura 5 h (Ginsberg y Perillo 2004).

Un rasgo característico de destacar es la formación de bancos de arena elongados en la boca de los grandes canales. Según

Ginsberg y Perillo (2004), estos cuerpos arenosos están dispuestos aproximadamente paralelos a la dirección general de la corriente de marea más fuerte (reflujo). Vistos en planta, son curvilíneos y presentan, en general, una sección transversal asimétrica. La similitud morfológica de los bancos desarrollados en los diferentes canales de marea, sugieren que todos responden a los mismos factores dinámicos para su formación y mantenimiento. Por lo tanto, respaldados en la analogía que presentan entre si estas geofomas, el presente estudio fue centrado sobre un banco característico, ubicado en la boca de un canal secundario denominado La Lista, el cual se halla alejado de los sectores que actualmente sufren dragados de mantenimiento (Fig. 1).

MÉTODOS DE TRABAJO

Las características morfológicas del fondo fueron reconocidas a través de relevamientos acústicos a bordo de la embarcación oceanográfica Buen Día Señor, del Instituto Argentino de Oceanografía (IA-DO). Se llevaron a cabo perfiles transversales y longitudinales al canal y al ban-

co La Lista. La navegación se posicionó mediante GPS diferencial (DGPS MAX) y se controló por un programa de navegación específico.

Los registros batimétricos se obtuvieron, analógica y digitalmente, con una ecosonda Batí-500MF. Las profundidades fueron referidas al nivel de reducción del Puerto de Ingeniero White, el cual se encuentra a 2,59 m por debajo del nivel medio del mar. Con el objeto de identificar las formas y estructuras del fondo, se utilizó un sonar de barrido lateral (EG & G modelo SMS 960) con un rango de barrido de 100 m. Los errores de escala se eliminaron corrigiendo la velocidad de registración con la velocidad real de la embarcación.

Para caracterizar granulométricamente el área de estudio, se realizó un muestreo de los materiales correspondientes al fondo y a los veriles de los canales, así como los sedimentos que componen los flancos y la cresta del banco. Las muestras se recolectaron con un Snapper y un muestreador oceanográfico de sedimentos de fondo desarrollado por Aliotta *et al.* (1997), el cual permite la toma de muestra durante el relevamiento acústico. Los sedimen-

tos fueron procesados en el laboratorio para su análisis granulométrico siguiendo la metodología estándar de Folk (1974). Luego los datos tuvieron un tratamiento estadístico con el programa de computación GRANUS (Perillo *et al.* 1985), donde se obtuvieron el porcentaje individual y acumulativo de las fracciones y parámetros estadísticos gráficos (Folk y Ward 1957).

De manera de analizar las corrientes en la zona de estudio, se fondearon tres correntógrafos a 1 m del fondo, los cuales registraron datos de velocidad y dirección de las corrientes durante tres ciclos de marea. Uno de ellos (C1) se ubicó en la boca del canal La Lista, el segundo (C2) al sur del banco y el tercero (C3) en el flanco norte del mismo, en proximidades al canal Principal (Fig. 1). Este último, debido a problemas técnicos, registró únicamente las direcciones de las corrientes, las cuales han sido consideradas al momento de analizar los resultados. Los datos de corrientes obtenidos permitieron estimar el transporte de sedimento como carga de fondo. Para ello se utilizó la fórmula de Bagnold (1966) modificada por Gadd *et al.* (1978). La misma fue escogida porque es la menos sensible a los cambios de profundidad (z). Por lo tanto, en un ambiente como el estuarial, donde la marea produce cambios en z , se considera la más apropiada (Heather-shaw 1981).

RESULTADOS

Característica morfológica general

El canal La Lista es uno de los principales tributarios del canal Principal (Fig. 1). Su curso es prácticamente recto con orientación oeste-este. En la zona de estudio, que comprende 2000 m desde la boca hacia el interior, presenta un ancho variable. Así, en su sector interno, mide aproximadamente 400 m aumentando hacia la boca donde adquiere un ancho de aproximadamente 1.000 m. Su máxima profundidad (14 m) se presenta en el sector interno, principalmente hacia el

flanco sur, conformando así un perfil transversal asimétrico (Fig. 2, a-a'). Desde el sector interno hacia la boca, el veril sur presenta una pendiente más inclinada (6° en promedio) que el veril norte (3°). En cambio, en la desembocadura esta asimetría se invierte, mostrando el veril sur una pendiente menor que el flanco norte, siendo de 1° y 3° , respectivamente.

En el sector de la desembocadura, unido al flanco sur del canal, se destaca la presencia del banco La Lista (Fig. 1). El mismo se extiende a modo de espiga hacia el canal Principal, presentando una orientación general noroeste-sureste. Su cresta sólo queda expuesta durante las grandes bajamares de sicigias. Al sur del banco se desarrolla un canal que alcanza los 800 m de ancho y una profundidad máxima de 9 m. El banco queda definido entre las isobatas 1 y 8 m y posee una longitud aproximada de 4 km y un ancho máximo que alcanza los 800 m.

En la zona de la desembocadura del canal, el banco se dispone formando un diseño característico en forma de "Z", pasando luego a adquirir una configuración elongada. Longitudinalmente, su sección transversal va cambiando, siendo asimétrica en el tramo norte y medio del banco (Fig. 2, b-b', c-c' y d-d'), presentando en general en el primer tramo, una pendiente menor ($0,5^\circ$) al norte, mientras que el lado opuesto inclina $2,5^\circ$. En el sector medio del banco la asimetría se invierte, observándose la mayor inclinación ($4,5^\circ$) en el flanco noreste. En cambio, en la porción sur del banco se presenta un perfil topográfico simétrico, con flancos que inclinan 2° (Fig. 2, e-e').

Rasgos morfológicos de fondo

El análisis de los registros acústicos de ecosonda y sonar lateral permitió definir diversos rasgos de fondo. Entre las formas depositacionales se distinguieron diversos tipos de dunas. Considerando la clasificación de Ashley (1990), se diferenciaron dunas pequeñas, medianas y grandes. En la figura 3 se ha esquematizado la disposición de las dunas presentes junto

con otros rasgos de fondo.

En la parte interna del canal La Lista, en las profundidades mayores, se ubicaron dunas asimétricas pequeñas, las cuales fueron previamente mencionadas por Lizasoain (2007). Para estas se ha determinado una altura (H) menor a 0,4 m y longitud de onda (L) de 8 m, inclinando al este. En cambio, sobre el veril norte se desarrollan dunas pequeñas, generalmente orientadas hacia el interior del canal.

En la zona de la boca del canal La Lista, las formas de fondo incrementan su tamaño y pasan a dunas medianas y grandes. Sus alturas oscilan entre 0,4 m y 1,5 m y sus longitudes de onda son del orden de 5 a 18 m. Su asimetría es bien definida, con el talud de la geoforma hacia el este. En la boca de la Lista, las líneas de cresta tienen una forma recta a sinuosa y su orientación va rotando gradualmente a medida que las dunas se aproximan al canal Principal. Las mismas pasan de disponerse norte-sur a noreste-suroeste (Fig. 3a).

Otro rasgo característico observable en el área de la desembocadura de La Lista son las lineaciones sedimentarias (*sand ribbons*) (Fig. 3b), que se desarrollan sobre un notable escalón topográfico, y con una orientación ligeramente curvada noroeste-sureste. Lizasoain (2007) establece para estas lineaciones un ancho de 30 m, mientras que su longitud alcanza los 300 metros.

Dunas medianas a pequeñas se encuentran presentes sobre ambos flancos del banco La Lista, aunque son más conspicuas en el norte. Aquí, se distinguen dunas asimétricas medianas con sus taludes orientados en dirección sureste. Se advierte que las desarrolladas a bajas profundidades, en general, se desvían hacia el sur atravesando la cresta del banco con un ángulo promedio de 30° (Fig. 3c). Sobre el flanco norte del banco, las dunas son medianas y pequeñas ($10 < H < 50$ cm y $3 < L < 10$ m). En cambio, en el lado sur sólo son pequeñas ($H = 20$ cm y $2 < L < 5$ m), con taludes al sur o sin una asimetría marcada.

Por otro lado, hacia el sur del banco, el

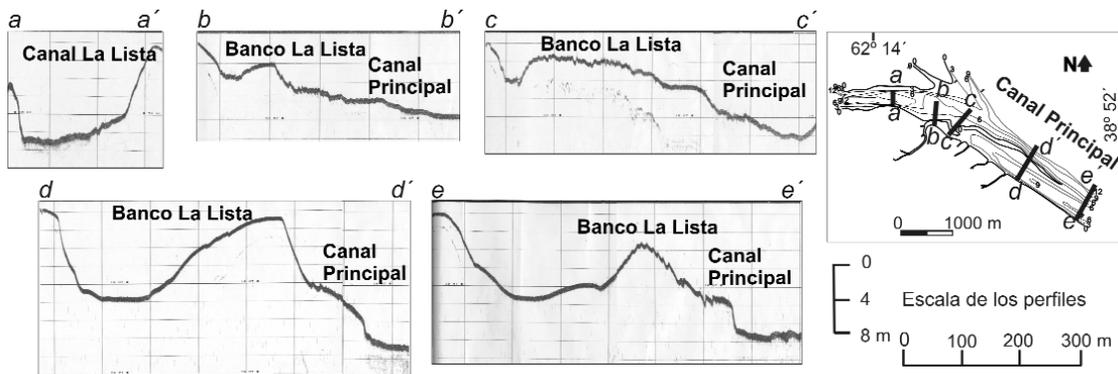


Figura 2: Perfiles transversales de eco-sonda en el canal y el banco La Lista.

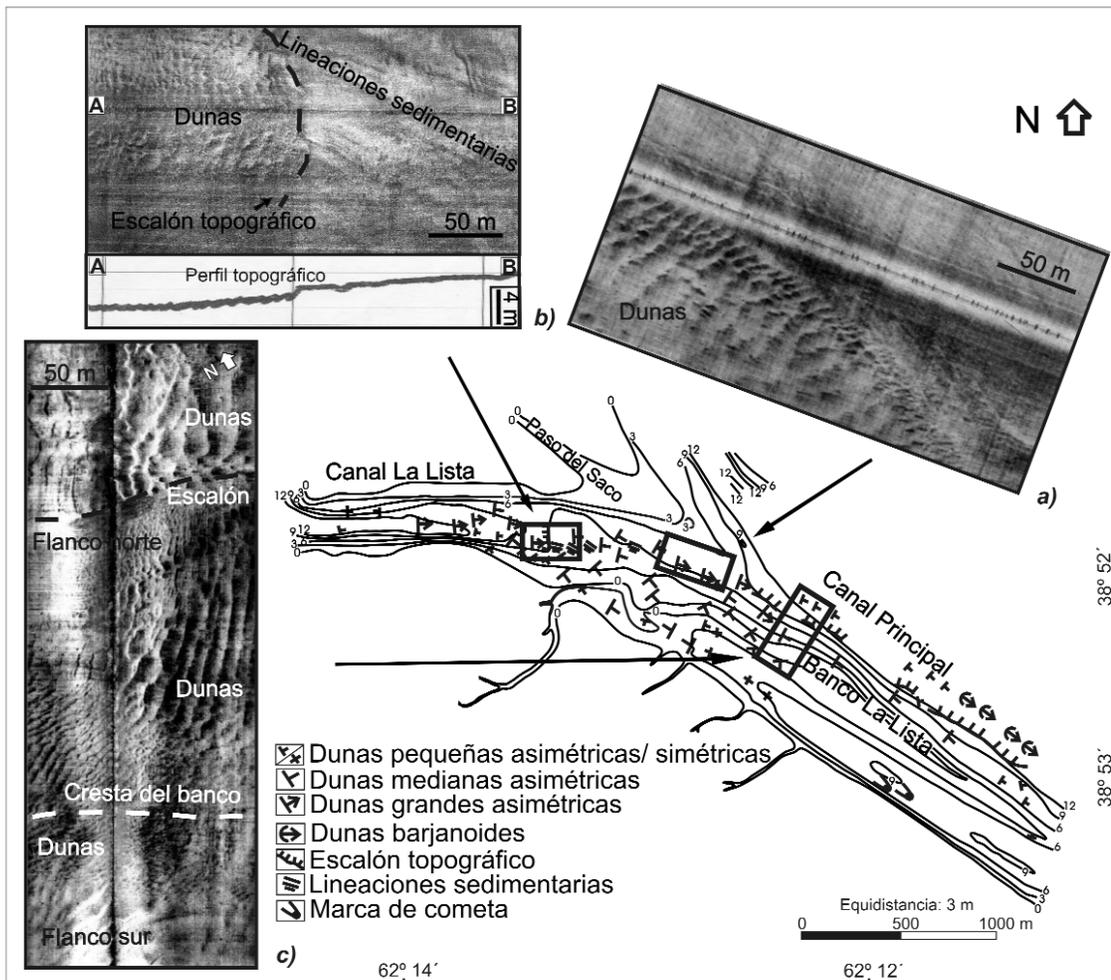


Figura 3: Rasgos del fondo en los registros de sonar lateral: a) Dunas grandes y medianas en la boca del canal La Lista. b) Dunas en el canal La Lista y presencia del escalón topográfico con lineaciones arenosas. c) Dunas a ambos lados de la cresta del banco y escalón topográfico (modificado de Vecchi *et al.* 2005 y Lizasoain 2007).

tamaño de las dunas tiende a disminuir. En esta zona, las geoformas son pequeñas y alcanzan en promedio alturas de 30 cm y longitudes de 4 m. Tienen un perfil asimétrico con el talud hacia el sureste y crestas rectas a levemente sinuosas, perpendiculares a la del banco (Fig. 4a). En las zonas más profundas sobre el canal Principal, se destacan dunas grandes (1,5

$m < H < 2\text{ m}$ y $20\text{ m} < L < 25\text{ m}$). Prevalcen las crestas sinuosas y de tipo barjanoide. Su perfil es asimétrico con el talud hacia el sureste (Vecchi *et al.* 2005). Otro tipo de rasgos que se presentan en el área son aquellos de carácter erosivo. En la desembocadura del canal La Lista, se desarrolla un notable escalón topográfico (Fig. 3b) a aproximadamente 7 m de

profundidad y con un desnivel de un metro. Un segundo resalto topográfico se reconoce próximo al canal Principal (Fig. 3c) y a una profundidad que oscila entre 9 y 12 m. El mismo se extiende casi paralelo a la orientación del canal de navegación (Fig. 4a), presentando un desnivel que varía entre 1,5 y 3,5 m. En los sonogramas, además, puede distinguirse cómo

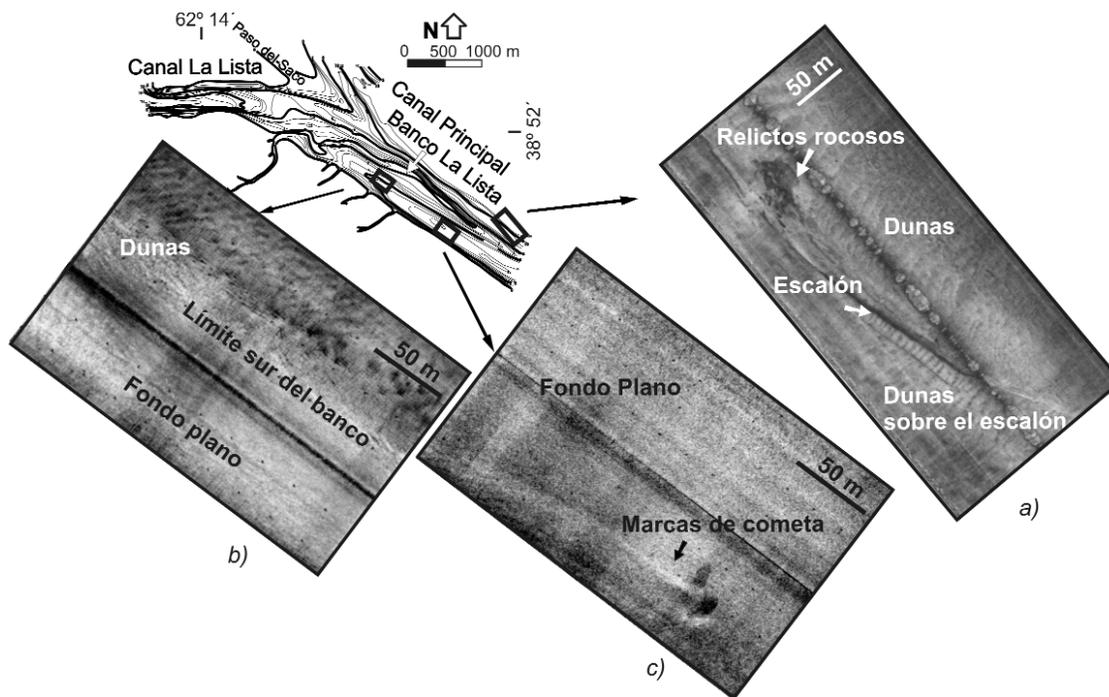


Figura 4: Regis-tros de sonar lateral donde se observan los rasgos del fondo. a) Dunas, escalón topográfico y relictos rocosos. b) Dunas medianas y pequeñas sobre el flanco sur del banco y fondo plano del canal marginal. c) Marcas de cometa sobre el fondo (modificado de Vecchi *et al.* 2005).

el material compactado que compone el escalón está estratificado. En sectores del canal Principal este material suele presentarse de manera irregular en forma de relictos (Fig. 4a).

En el canal formado entre el banco y el veril sur del canal Principal se determinaron rasgos de fondo denominados marcas de cometa. Corresponden a formas elongadas, cuya longitud máxima es de 200 m y un ancho que varía entre 5 y 25 m. En general, este canal mostró un fondo plano donde los registros del sonar lateral revelaron una baja reflexión acústica, indicadora de una cubierta sedimentaria homogénea, predominantemente constituida por material fino (Fig. 4b y c). Hacia el sector más interno de este canal marginal, aparecen dunas asimétricas medianas y pequeñas ($20 < H < 50$ cm y $2 < L < 10$ m) con taludes al noroeste y crestas rectas y sinuosas.

Características sedimentológicas

En general, en el canal La Lista el sedimento es arenoso (Fig. 5), presentándose las mayores granulometrías en su parte más profunda y sobre el flanco sur. Normalmente su selección es muy pobre. En

la zona de la boca, el sedimento corresponde a una arena fina de buena selección, mientras que ambos veriles están integrados por un sedimento fangoso o areno limo arcilloso muy pobremente seleccionado.

En el sector del banco predomina la fracción arena, con algunas variaciones de acuerdo a su ubicación. La zona de la cresta está constituida por una arena con conchillas de selección pobre, el flanco norte por una arena fina de mejor selección y el flanco sur por arena limo arcilloso de selección muy pobre.

El sedimento que integra el canal desarrollado al sur del banco La Lista, es un limo arcilloso muy pobremente seleccionado. El veril sur y su sector más interno está compuesto por arena limo arcilloso de selección pobre y moderada, respectivamente.

Análisis de las corrientes

El análisis de la corriente determina que entre las estaciones C1 y C2 existen diferencias entre los hemisiclos de flujo y reflujo (Fig. 6a). Así, en C1 la máxima velocidad alcanzada por la corriente fue durante el reflujo (50 cm s^{-1}) mientras que

en el flujo los valores más altos fluctuaron en los 40 cm s^{-1} . En la estación C2 la velocidad adquirió valores semejantes tanto de flujo como de reflujo, siendo en promedio de 55 cm s^{-1} .

Una característica importante de resaltar entre ambas estaciones es que en C1 la corriente de flujo alcanza sus máximas velocidades más rápidamente que en C2, y una vez obtenidas las mismas, se mantienen constantes a lo largo de un periodo de tiempo extendido (3,5 hs). En cambio, durante la bajante, en las dos estaciones, la corriente aumenta su velocidad en forma progresiva hasta alcanzar el máximo valor al mismo tiempo. Una vez logradas las máximas velocidades, en C1 se mantienen constantes un tiempo prolongado (promedio 3 hs), mientras que en C2 las velocidades comienzan a descender (Fig. 6a).

En general, en el estuario de Bahía Blanca los momentos de mínima velocidad de la corriente, ocurren en intervalos de aproximadamente seis horas. Sin embargo, este valor puede ser variable en diferentes sitios del estuario debido a la asimetría de la marea. Estos mínimos son tomados como punto de división entre la corriente de flujo y de reflujo. Por lo

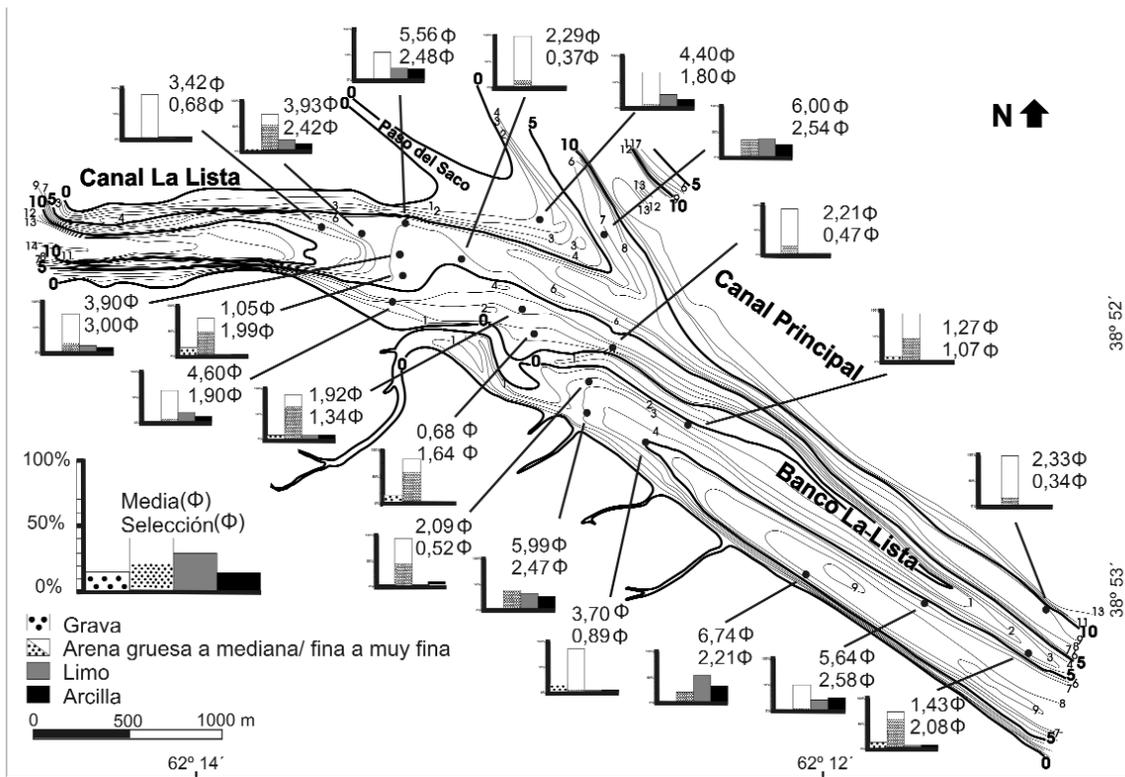


Figura 5: Localización y caracterización sedimentológica de las muestras superficiales de fondo en el área de estudio.

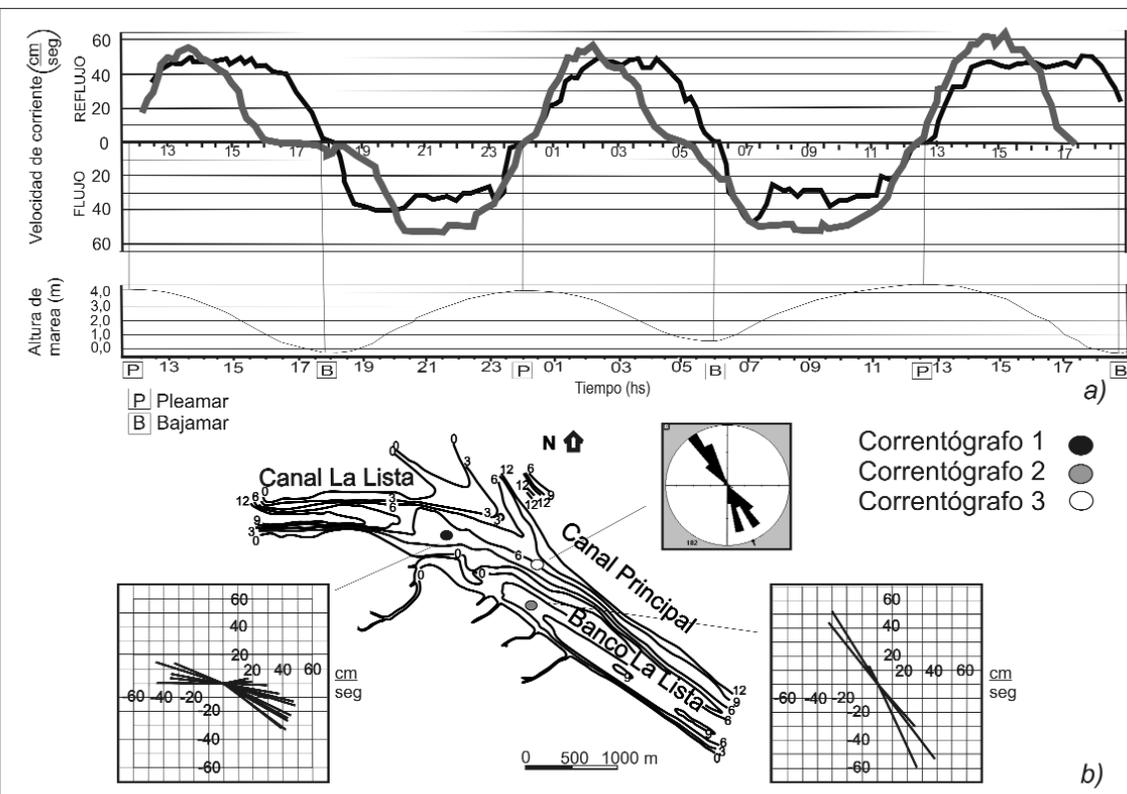


Figura 6: Mediciones de corrientes. a) Variación de las velocidades durante el flujo y reflujo en correntógrafos 1 y 2. b) Distribución de los vectores de corrientes (correntógrafos 1 y 2) y frecuencia de las corrientes (correntógrafo 3).

tanto, para definir esas separaciones se tiene en cuenta la componente longitudinal

de la corriente. Examinando esta componente para ambas estaciones, se

observa que en C1 la corriente de creciente y bajante demoran cada una 6 hs.

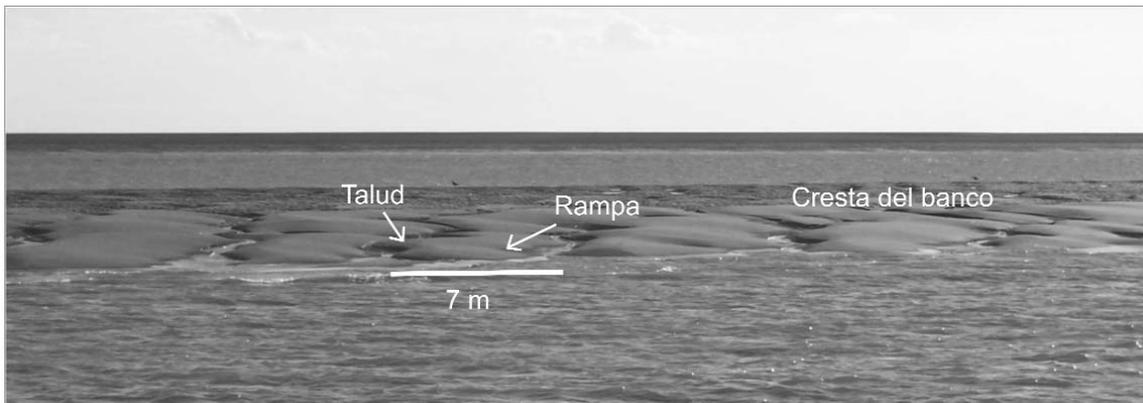


Figura 7: Fotografía de la zona de cresta del banco La Lista, excepcionalmente emergida durante una bajamar de sicigia. Se observan dunas medianas, con pequeñas sobreimpuestas.

En cambio en C2, el flujo sucede durante 7 hs, mientras que el reflujo dura 5 hs. Cabe destacar que, si bien en C3 debido a una falla técnica del equipo, los valores de velocidad no se registraron se advierte que la duración de ambos hem ciclos fue aproximadamente similar (6 horas).

El modelo de distribución de los vectores de corriente para las estaciones C1 y C2, exhibe grandes diferencias. Mientras en C1 los vectores presentan una mayor divergencia en las direcciones, en C2 los vectores muestran una menor dispersión, indicando un confinamiento de las corrientes, dando lugar a flujos rectilíneos opuestos (Fig. 6b). En C3 las direcciones tienen una dispersión moderada, siendo mayor en el reflujo que en el flujo. Las principales direcciones en C1 mostraron una orientación ONO- ESE; en C2 fueron NO-SE y en C3, NNO-SSE.

DISCUSIÓN

La cubierta sedimentaria que conforma el área del presente trabajo, está compuesta por diversas formas de fondo, sujetas al transporte de sedimento. Así, los registros de ecosonda y sonar de barrido lateral ilustran la presencia de dunas de diferentes características, que permiten inferir la dirección de movimiento del sedimento (Ashley 1990, Ikehara y Kiroshita 1994, Bouma *et al.* 1977, Boothroyd y Hubbard 1975). Bokuniewicz *et al.* (1977), Fenster *et al.* (1990) y Fenster y Fitzgerald (1996) revelan que las dunas grandes y medianas son consideradas relativamente estables donde su movimien-

to neto no es afectado por el cambio de la marea. Por lo tanto, a través de la asimetría de sus perfiles podemos estimar la dirección residual del transporte de sedimento como carga de fondo, ya que la pendiente de máxima inclinación se mantiene en una misma dirección durante todo el ciclo de marea (Dalrymple y Rhodes 1995). Por consiguiente, la asimetría de las dunas desarrolladas en el tramo comprendido entre el interior del canal La Lista y su boca, señalan, en coincidencia a lo expresado por Ginsberg y Perillo (1999) y Vecchi *et al.* (2005), una movilización de sedimentos como carga de fondo hacia el sector este y sureste debido a la acción de las corrientes de reflujo. En la zona de la desembocadura de La Lista las dunas cambian sus características. Ellas aumentan su tamaño pasando de medianas a grandes al mismo tiempo que rotan y migran hacia el sureste estableciendo una dominancia de las corrientes de reflujo provenientes del canal Principal. La presencia de dunas tipo barjanoides en el sector más profundo del área relevada del canal de navegación, indica, siguiendo el concepto de Allen (1968b y 1970), que la corriente de reflujo alcanza, en este sector, las velocidades más altas. La capa de sedimento que cubre el banco La Lista está caracterizada por dunas asimétricas medianas y pequeñas. Las primeras, en general, muestran un transporte residual de arena hacia el sector sureste y al flanco sur del banco. En el primer caso el sedimento se moviliza por el flanco norte hacia el sector distal, el cual actuaría como un área de "by pass" (Vecchi

et al. 2005). Por otro lado, la disposición de las dunas en el área de la cresta del banco, las que forman un ángulo de aproximadamente 30° con ésta, sugieren que el sedimento se transporta hacia el flanco sur atravesando la geoforma. Vista en planta estas formas de fondo, observadas sólo en alguna marea baja extraordinaria, son principalmente 3D con las líneas de cresta sinuosa, linguoide o lunada (Fig. 7).

Según Aliotta y Perillo (1987), Aliotta *et al.* (2000) y Hoekstra *et al.* (2004), el tamaño y la dinámica de las dunas no son solamente función de la condición hidrodinámica, sino que dependen del suministro de sedimento. En el área de estudio, el menor espesor de la capa de sedimento se refleja no sólo por una disminución en el tamaño de las dunas sino también por un aumento en la reflectividad del fondo, observado a través de los registros de sonar lateral. Precisamente, el menor tamaño que presentan las dunas desarrolladas sobre el flanco norte del banco y la presencia de un fondo más reflectivo en el canal Principal, indicarían una reducción en la cobertura de arena hacia dicha zona.

En el canal marginal desarrollado al sur del banco La Lista (Fig. 1) el hallazgo de marcas de cometa revela el dominio de la corriente de flujo. Estas estructuras son rasgos erosivos que se extienden longitudinalmente dejando expuesto un fondo duro o un material más grueso en áreas con material más fino (Werner & Newton 1975). En el presente estudio, las mismas se consideran relacionadas a un

afloresamiento de material compacto, infrayacente al sedimento arenoso limoso (Fig. 4c) que es movilizado hacia el noroeste, indicando la dominancia de la corriente de flujo.

Las lineaciones sedimentarias en el área de la desembocadura del canal La Lista, desarrolladas sobre un sustrato compactado (acústicamente reflectivo), resultan indicativas de una escasa cubierta arenosa. Según la disposición que presentan estas estructuras, establecen una movilización del sedimento hacia el canal Principal. De acuerdo con lo establecido por Amos y King (1984), Allen (1966, 1968a) y Wilson (1972) las lineaciones se desarrollan en zonas de elevadas velocidades de corrientes y generación de flujos helicoidales. En la boca del canal La Lista, las intensas corrientes de reflujo y el resalto topográfico allí presente (Fig. 3a), establecen las condiciones hidrodinámicas para el desarrollo de flujos turbulentos, vinculados a la generación de dichas geoformas.

Del análisis de las corrientes de fondo medidas en la zona de estudio, se desprende una marcada asimetría en tiempo-velocidad, que origina flujos residuales opuestos. La corriente actuante en el área de la boca, cercana al flanco norte del banco, mantiene una asimetría en velocidad, donde el reflujo posee mayores valores dando como resultado la dominancia del flujo de bajante. En cambio, en el canal marginal al sur del banco, la asimetría en tiempo, debido a la mayor duración de la corriente de flujo, produce una corriente residual hacia el interior del estuario. Esta oposición en el dominio de las corrientes a ambos lados del banco establecería, durante un ciclo de marea, una circulación del flujo de agua en torno al mismo, en sentido horario. Esta misma característica hidrológica ha sido mencionada por otros investigadores (Johnson *et al.* 1982, Mallet *et al.* 2000) para bancos de ambientes estuariales. El modelo circulatorio definido alrededor del banco La Lista favorecería su evolución y mantenimiento. Asimismo, se destaca que la asimetría de las dunas grandes desarrolladas

sobre el flanco norte del banco y las estructuras formadas en el canal marginal al sur del mismo, corroborarían el modelo de circulación planteado. Dichas geoformas indican que ambos sectores están dominados por transportes residuales de sedimento que son opuestos, estableciéndose de tal manera trayectorias inversas en torno al banco La Lista.

Por otro lado, con el objeto de evaluar la capacidad de las corrientes de marea para movilizar el sedimento, se realizó el cálculo del transporte de sedimento como carga de fondo aplicando la fórmula de Bagnold (1966) modificada por Gadd *et al.* (1978):

$$q = (\beta/\rho_s) \beta (u_{100} - u_{cr100})^3 \text{ (g cm}^{-1} \text{ seg}^{-1}\text{)}$$

donde u_{100} (cm seg⁻¹) es la velocidad de la corriente a un metro del fondo; u_{cr100} (cm seg⁻¹) es la velocidad crítica para la iniciación del transporte a un metro del fondo; β (g seg² cm⁻⁴) es un valor empírico igual a $1,73 \times 10^{-5}$, constante para diferentes tamaños de sedimento (Amos *et al.* 1993 y Li y Amos 1993); ρ_s es la densidad del sedimento (2,65 g cm⁻³). Para calcular u_{cr100} , el D_{50} del sedimento se obtuvo del análisis del tamaño de grano de las muestras de fondo tomadas en cada estación de los correntómetros. La estimación del transporte de sedimento fue realizada cuando la velocidad de la corriente excede el correspondiente valor crítico. De esta manera, el resultado del transporte neto de sedimento en la boca del canal La Lista es de 0,02188 g cm⁻¹ seg⁻¹ en sentido del reflujo, mientras que el canal marginal, al sur del banco estudiado, presenta valores de 0,00451 g cm⁻¹ seg⁻¹ en sentido del flujo. En consecuencia, se advierte la existencia de un transporte de sedimento en direcciones opuestas a ambos lados del banco, el cual es análogo a la circulación del flujo de agua. Este mismo esquema circulatorio de agua-sedimento en torno al banco estudiado, concuerda con los establecidos por Caston y Stride (1970), Caston (1972), Kenyon *et al.* (1981) y Huthnance (1982 a y b), en otros ambientes mareales.

Caston (1972) sugirió que la dominancia de la corriente de flujo y reflujo que actúa a cada lado de un banco arenoso, causa una desigualdad en la tasa de transporte de sedimento, provocando la deformación de la cresta del banco. En tal caso, la cresta tiende a adquirir una configuración sigmoidea (zig-zag), y eventualmente se divide en dos o más bancos pequeños paralelos, separados por canales. Consecuentemente con el modelo expresado, el desigual transporte residual de sedimento, con trayectorias opuestas, que ocurre en los flancos del banco La Lista, originaría la actual configuración levemente sigmoidea que presenta el sector norte del mismo (Fig. 1).

Teniendo en cuenta las características topográficas generales de los bancos de arena, se considera que la asimetría de los mismos en sección transversal es indicativa de la dirección de movimiento de la geoforma. Esta dirección de desplazamiento es revelada por la máxima pendiente (Houbolt 1968, Keyton *et al.* 1981, Johnson *et al.* 1982, Stride 1989). Así, en el banco La Lista la presencia de una asimetría opuesta en diversas partes del mismo indica que el flanco de mayor inclinación se ubica en forma alternada en direcciones contrarias. De esta manera, en el extremo norte de la geoforma, la máxima pendiente en general se desarrolla hacia el sur para luego, una vez en el canal Principal, invertirse presentando la mayor inclinación al norte. Llegando al sector sur, las pendientes se hacen similares. Estas inversiones en la localización del talud sugieren que el movimiento de cada tramo es el resultado de un desplazamiento lateral diferencial según el modelo sigmoideo (zig-zag). Concordantemente con dicha hipótesis, De Moor (1986), estudiando la asimetría del banco Westhinder (sector sur del Mar del Norte, Bélgica), determinó también, a partir de la presencia de una asimetría opuesta en diversas partes del mismo, que cada uno de los sectores corresponde a migraciones y fases de evolución diferentes. La simetría en sección transversal que exhibe el sector sur del banco indica que

en este tramo la geoforma no migraría lateralmente, prevaleciendo un transporte longitudinal, el cual provoca su crecimiento en dicha dirección. Para esto, gran parte del sedimento, proveniente del interior del canal La Lista, circularía sobre el flanco norte del banco, el cual actuaría como un área de tránsito (*by pass*). Al realizar una estimación evolutiva del banco en estudio, usando la carta batimétrica del Servicio de Hidrografía Naval (1977), se distingue que dicha geoforma ha incrementado verticalmente 1 m en el sector norte y hasta 5 m en el sur. Al mismo tiempo se establece que el banco se ha extendido longitudinalmente dentro del orden de los 1.500 m, según isobatas de 0 y 3 m. Este crecimiento longitudinal definido en el banco La Lista forma parte, según el concepto establecido por Caston (1981) para bancos arenosos, del mecanismo de circulación de la arena. De esta forma, el sedimento entra al sistema por la amplia cabecera que se desarrolla en el área de la desembocadura del canal La Lista. Los arroyuelos de marea presentes en la costa sur del canal Principal, cercanos al tramo norte del banco, contribuirían al aporte de sedimentos a dicho sector, debido a la acción de las corrientes de flujo dominantes en el canal marginal. En cambio, la zona sur del banco, o cola de la geoforma, es el área donde el material arenoso abandonaría el sistema.

Los cambios morfológicos del banco La Lista evidenciados a través de la comparación de la carta geomorfológica realizada por Ginsberg (1991) y la del presente trabajo, indican que la evolución del mismo concuerda con la secuencia de movimiento y desarrollo de un banco lineal propuesto por Caston (1972). Entre los años 1977 y 1989, Ginsberg (1991), examinando la evolución del sector norte del banco La Lista, reconoció la partición del mismo, generándose tres pequeños bancos elongados. Durante la última década las condiciones hidrosedimentológicas condujeron a la unificación de los mismos, formándose un único banco. Al mismo tiempo, el continuo aporte sedi-

mentario del interior del canal La Lista y aquel proveniente de los arroyuelos de marea adyacentes, permitió la conexión del banco con el veril sur. Actualmente, la cresta de esta geoforma presenta una ligera curvatura, enfatizándose su configuración zig-zag en el tramo norte.

El análisis de las muestras superficiales de fondo permitió determinar que las dunas, en general, se desarrollan donde el sedimento arenoso contiene menos de 15% de limo y arcilla. En cambio las marcas de cometa se forman donde el material es predominantemente limo arcilloso. La distribución espacial del tamaño de sedimento sobre el banco La Lista indica que el material más grueso se acumula hacia la cresta. El material de mayor tamaño estaría representado principalmente por fragmentos de conchillas. La rompiente que se produce en el sector de menor profundidad del banco, favorecería el lavado de las fracciones finas y la deposición de los granos más gruesos. Al respecto, Lanckneus (1989), en estudios en la costa de Bélgica, demuestra que las variaciones en el tamaño del sedimento ocurren en forma paralela y perpendicular a la línea de cresta de un banco. Walgreen *et al.* (2004) mencionan que la distribución de las medidas de grano principales muestra un sedimento más grueso en la cresta y uno más fino en los sectores profundos. En el caso del banco La Lista, la distribución del tamaño de grano de los sedimentos es concordante con esta tendencia.

CONCLUSIONES

El banco La Lista es un banco arenoso de configuración elongada que se desarrolla en el sistema estuarial de Bahía Blanca. El material sedimentario que se moviliza por las corrientes de bajante hacia el exterior del canal La Lista se constituye en la principal fuente de aporte de sedimentos. Los rasgos de fondo (dunas y lineaciones arenosas) son indicativos del transporte de arena sobre el flanco norte del banco. Parte de este material tiende a traspasar transversalmente la

cresta del mismo y es depositado en el flanco sur. Otra porción continúa su trayectoria bajo la dominancia de las corrientes de reflujo, contribuyendo al crecimiento longitudinal del banco.

Desde un punto de vista hidrodinámico se establece la existencia de una dominancia de la corriente de flujo o reflujo, ya sea por velocidad o duración, sobre cada uno de los flancos del banco. Así, en el flanco norte domina el reflujo, debido a la mayor magnitud de la velocidad, en tanto que en el flanco sur la dominancia es del flujo, originada por su mayor tiempo de acción. Esta diferencia ocasiona un movimiento desigual entre los flancos, con un transporte en el norte al SE, y en el sur al NO, originándose así una circulación general del sedimento en sentido horario alrededor del banco. Los valores de transporte estimados a ambos lados del banco fueron de $0,02188 \text{ g cm}^{-1} \text{ seg}^{-1}$ en el sentido del reflujo, para el flanco norte, y de $0,00451 \text{ g cm}^{-1} \text{ seg}^{-1}$ en el sentido del flujo, para el flanco sur del banco.

En los últimos treinta años el banco La Lista ha sufrido variaciones morfológicas en respuesta a las condiciones dinámicas del ambiente. Si bien la configuración de su cresta ha experimentado cambios en su linealidad, la evolución más destacable fue su crecimiento en sentido vertical y su desarrollo longitudinal hacia el exterior del estuario.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. G. Liza-soain y al Sr R. Zibecchi por su colaboración en los relevamientos geofísicos. A los Lic. D. Gigante y W. Briceño por su ayuda en las tareas de campo y gabinete. Al Dr. J. Spagnuolo por sus valiosos comentarios y consejos. Al personal de la embarcación Buen Día Señor: Téc. C. Bernárdez y N. Conte, como así también a los Téc. H. Pellegrini y M. Colombani por su colaboración en las tareas de laboratorio. Este trabajo fue financiado por los siguientes subsidios: 1) Proyecto 189 Departamento de Ciencias Naturales,

UNLPamp.; 2) PGI 24/ZH11 y 24/H084, Secretaría de Ciencia y Técnica, UNS; 3) PIP 5538, CONICET; 4) PEI N° 6347, CONICET, PICT 7- 31666, Agencia.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aliotta, S. 1987. Estudio de la geomorfología y de la dinámica sedimentaria del Estuario de Bahía Blanca entre Pto. Rosales y Fondecadero. Tesis Doctoral, Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, (inédito), 180 p., Bahía Blanca.
- Aliotta, S. y Perillo G.M.E. 1987. A sand wave field in the entrance to Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Marine Geology* 76: 1 - 14.
- Aliotta, S., Schnack, E., Isla F. y Lizasoain, G. 2000. Desarrollo secuencial de formas de fondo en un régimen macromareal. *Revista Asociación Argentina de Sedimentología* 7(1-2): 95-107.
- Aliotta, S., Spagnuolo, J.O., Galán, C.A. y Melo, W.D. 1997. Muestreador oceanográfico de sedimentos superficiales de fondo para ser empleado simultáneamente con la prospección sísmica. 10° Coloquio de Oceanografía, Resúmenes: 38.
- Allen, J.R.L. 1966. On bed forms and paleocurrents. *Sedimentology* 6, 1-2: 19-35.
- Allen, J.R.L. 1968 a. Current Ripples: Their relation to patterns of water and sediment motion. North-Holland publishing, 433 p., Amsterdam.
- Allen, J.R.L. 1968b. The nature and origin of bed form hierarchies. *Sedimentology* 10: 16 - 182.
- Allen, J.R.L. 1970. Physical Processes of Sedimentation. American Elsevier 248 p., New York.
- Amos, C.L., Gómez, E.A. y LI, M.Z. 1993. Sand transport - measurements and predictions. En *Proceedings of Euromech*: 42-46.
- Amos, C.L. y King, E.L. 1984. Bedforms of the Canadian eastern seaboard: a comparison with global occurrences. *Marine Geology* 57: 167-208.
- Ashley, G.M. 1990. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. *Journal Sedimentary Petrology* 60 (1): 160 - 172.
- Bagnold, R.A. 1966. An approach to the sediment transport problem from the general physics. U. S. Geological Survey, Professional Paper, 422-J, 33 p.
- Bokuniewicz, H.I., Gordon, R.B. y Kasteus, K.A. 1977. Form and migration of sand waves in a large estuary, Long Island Sound. *Marine Geology* 24: 185-199.
- Boothroyd, J.C. y Hubbard, D.K. 1975. Genesis of bedforms in mesotidal estuaries. En Cronin, L. E. (Eds.). *Estuarine Research* 2, *Geology and Engineering*. Academic Press, 217 - 234 p., New York.
- Bouma, A.H., Hampton, M.A. y Orlando, R.C. 1977. Sand waves and other bedforms in lower Cook Inlet, Alaska. *Marine Geotechnology* 2: 291 - 308.
- Caston, V.N.P. 1972. Linear sand banks in the Southern North Sea. *Sedimentology* 18: 63-78.
- Caston, V.N.D. y Stride, A.H. 1970. Tidal sand movement between some linear sand banks in the North Sea off northeast Norfolk. *Marine Geology* 9(M): 38-42.
- Caston, G.F. 1981. Potential gain and loss of sand by some sandbanks in the southern North Sea off northeast Norfolk. *Marine Geology* 41: 239-250.
- Cuadrado, D.G., Gómez, E.A. y Ginsberg, S.S. 2003. Large Transverse Bedforms in a Mesotidal Estuary. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 10(2): 163-172.
- Chappell, J. y Woodroffe, C.D. 1994. Macrotidal estuaries. En Carter, R.W.G. and Woodroffe, C.D. (eds.) *Coastal Evolution: Late Quaternary Shoreline Morphodynamics*, University Press: 187-218, Cambridge.
- Dalrymple, R.W. y Rhodes, R.N. 1995. Estuarine dunes and bars. En Perillo, G.M.E. (ed.) *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*, Elsevier Science, *Developments in Sedimentology* 53: 359-422, Amsterdam.
- Dalrymple, R.W. y Zaitlin, A. 1989. Tidal sedimentation in the macotidal Cobequid Bay-Salmon River Estuary, Bay of Fundy. 2° International Research Symposium of Petroleum Geologists, 84 p.
- De Moor, G. 1986. Geomorfologisch onderzoek op het Belgisch Continentaal Plat. *Tijdschrift van de Belgische Vereniging voor Aardrijkskundige Studies* 2:133-174.
- Dyer, K.R. y Huntley, D.A. 1999. The origin, classification and modelling of sandbanks and ridges. *Continental Shelf Research* 19: 1285-1330.
- Fenster, M.S., Fitzgerald, D.M., Bohlen, W.F., Lewis, R.S. y Baldwin, C.T. 1990. Stability of Giant Sand Waves in Eastern Long Island Sound, U.S.A. *Marine Geology* 91: 207-225.
- Fenster, M.S. y Fitzgerald, D.M. 1996. Morphodynamics, stratigraphy, and sediment transport patterns of the Kennebec River estuary, Maine, USA. *Sedimentary Geology* 107: 99-120.
- Folk, R.L. 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin, The University of Texas, Hemphill. 170 p.
- Folk, R.L. y Ward, W.C. 1957. Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27(1): 3-26.
- Gadd, P.E., Lavelle, J.W. y Swift, D.J.P. 1978. Estimates of sand transport on the New York Shelf using near bottom current meter observations. *Journal of Sedimentary Petrology* 48: 239-252.
- Ginsberg, S.S. 1991. Geomorfología y evolución de canales de marea del Estuario de Bahía Blanca. Tesis Doctoral, Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur (inédito), 179 p., Bahía Blanca.
- Ginsberg, S.S. y Perillo, G.M.E. 1999. Deep-scour holes at tidal channel junctions, Bahía Blanca estuary, Argentina. *Marine Geology* 160: 171-182.
- Ginsberg, S.S. y Perillo, G.M.E. 2004. Characteristics of tidal channel in a mesotidal estuary of Argentina. *Journal of Coastal Research* 20(2): 489-497.
- Gómez, E.A., Perillo, G.M.E. 1992. Largo Bank: a shoreface-connected linear shoal at the Bahía Blanca Estuary entrance. Argentina. *Marine Geology* 104: 193-204.
- Hanna, J.E. y Cooper, J.A.G. 2002. Mesoscale Morphological Changes on Linear, Nearshore Sandbank, Co. Wexford, SE Ireland. *Journal of Coastal Research, Special Issue* 36: 356 - 364.
- Heathershaw, A.D. 1981. Comparisons of measured and predicted sediment transport rates in tidal currents. *Marine Geology* 42: 75-104.
- Hoekstra, P., Bell, P., van Santen, P., Roode, N., Levoy, F. y Whitehouse, R. 2004. Bedform migration and bedload transport on an intertidal shoal. *Continental Shelf Research* 24 (11): 1249-1269.

- Houbolt, J.J.H.C. 1968. Recent sediments in the Southern Bight of the North Sea. *Geologie en Mijnbouw* 47(4): 245-273.
- Huthnance, J.M. 1982a. On one mechanism forming linear sand banks. *Estuarine Coastal Shelf Science* 14: 79-99.
- Huthnance, J.M. 1982b. On the formation of sand banks of finite extent. *Estuarine Coastal Shelf Science* 15: 277-299.
- Ikehara, K. y Kinoshita, Y. 1994. Distribution and origin of subaqueous dunes on the shelf of Japan. *Marine Geology* 120: 75-87.
- Johnson, M.A., Kenyon, N.H., Belderson, R.H. y Stride, A.H. 1982. Sand transport. En Stride, A.H. (ed.) *Offshore Tidal Sands - Processes and Deposits*. Chapman and Hall, 58-94, London.
- Kenyon, N.H., Belderson, R.H., Stride, A.H. y Johnson, M.A. 1981. Offshore tidal sand banks as indicators of net sand transports and as potential deposits. En Schuttenhelm, S.D., Nio, R.T.E. y Weering, T.C.E. (eds.) *Holocene Marine Sedimentation in the North Sea Basin*, Blackwell Science: 257- 268, Malden, Mass.
- Lanckneus, J. 1989. A comparative study of sedimentological parameters of some superficial sediments on the Flemish Banks. En Henriët, J.-P., De Moor, G. (eds.) *The Quaternary and Tertiary Geology of the Southern Bight, North Sea*. Gent: 229-241.
- Lí, M.Z. y Amos, C.L. 1993. SEDTRANS92: re-evaluation and upgrade of the AGC sediment transport model. *Geological Survey of Canada Open File Report* 2769, 42 p.
- Lizasoain, G.O. 2007. Estudio geomorfológico submarino en un ambiente estuarial mediante sistemas acústicos. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur (inédito), 245 p., Bahía Blanca.
- Ludwick, J.C. 1974. Tidal currents and zig-zag sand shoals in a wide estuary entrance. *Geological Society of America Bulletin* 85: 717-726.
- Mallet, C., Howa, H.L., Garlan, T., Sottolichio, A. y Le Hir, P. 2000. Residual Transport model in correlation with sedimentary dynamics over an elongate tidal sandbar in the Gironde Estuary (Southwestern France). *Journal of Sedimentary Research* 5: 1005-1016.
- Montañez Santiago, J.M. 1971. Estudio tentativo de los movimientos de bancos y canales en la ría de Bahía Blanca. *Boletín Servicio Hidrografía Naval* 8: 37-69.
- Nedeco-Arconsult 1983. Estudio de dragado del canal acceso al Puerto de Bahía Blanca, informe inédito, 105 p., Bahía Blanca.
- Pattiaratchi, C. y Collins, M. 1987. Mechanisms for linear sandbank formation and maintenance in relation to dynamical oceanographic observations. *Progress in Oceanography* 19: 117-176.
- Perillo, G.M.E., Gómez, E.A., Aliotta, S. y Galíndez, D.E. 1985. Granus: un programa FORTRAN para el análisis estadístico y gráfico de muestras de sedimentos. *Revista Asociación Argentina Mineralogía, Petrología y Sedimentología* 16(1-4): 1-5.
- Perillo, G.M.E. y Cuadrado, D.G. 1991. Geomorphologic evolution of El Toro Channel, Bahía Blanca Estuary (Argentina) prior to dredging. *Marine Geology* 97: 405-412.
- Serman, D.D. 1985. Características de la marea en Bahía Blanca. *Boletín del Centro Naval*. 103: 51-74.
- Stride, H.A. 1989. Modern deposits, quasi-deposit and some Holocene sequences in the Southern Bight. North Sea. En Henriët, J.P. y De Moor, G. (eds.) *The Quaternary and Tertiary Geology of the Southern Bight, North Sea*. Ministry of Economic Affairs, Belgian Geology Survey: 149-159 Brussels.
- Swift, D.J.P. 1975. Tidal ridges and shoal-retreat massifs. *Marine Geology* 18: 105-134.
- Switt, D.J.P. y Ludwick, J.C. 1976. Substrate response to hydraulic process: grain-size frequency distributions and bed forms. En Stanley, D.J. y Switf, D.J.P. (eds.) *Marine Sediment Transport and Environmental Management*, Wiley and Sons: 159-196, New York.
- Trentesaux, A., Stolk, A. y Berné, S. 1999. Sedimentology and stratigraphy of a tidal sand bank in the southern North Sea. *Marine Geology* 159: 253- 272.
- Vecchi, L.G., Aliotta, S. y Ginsberg, S.S. 2005. Banco Elongado en un estuario mesomareal: Rasgos de fondo y dinámica sedimentaria. 16° Congreso Geológico Argentino. Simposio de Evolución de la Plataforma Continental y Regiones costeras durante el Pleistoceno-Holoceno, Actas 3: 793-800, La Plata.
- Walgreen, M., De Swart, H.E. y Calvete, D. 2004. A model for grain-size sorting over tidal sand ridges. *Ocean Dynamics* 54: 374-384.
- Werner, F. y Newton, R. 1975. The pattern of large-scale bed forms in the Langeland Belt (Baltic Sea). *Marine Geology* 19: 29-59.
- Wilson, I.G. 1972. Aeolian bedforms - their development and origins. *Sedimentology* 19: 172-210.

Recibido: 16 de noviembre, 2007
Aceptado: 30 de julio, 2008