

PROCESOS HIDROSEDIMENTOLOGICOS Y METEOROLOGICOS RELACIONADOS CON LA SEDIMENTACION DE UN PUERTO

Gisela A. Federici¹, Diana G. Cuadrado¹⁻³, Eduardo A. Gómez¹⁻²

¹Instituto Argentino de Oceanografía. CC804. 8000 Bahía Blanca. Argentina - CONICET
Camino La Carrindanga Km. 7. Casilla de correo 804. (8000) Bahía Blanca, Argentina
E-mail: federici@criba.edu.ar, cuadrado@criba.edu.ar, gngomez@criba.edu.ar

²Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca 11 de Abril 461.
8000 Bahía Blanca. Argentina

³Depto Geología. Universidad Nacional del Sur. San Juan 670. 8000 Bahía Blanca. Argentina

RESUMEN

Se estudian los procesos que intervienen en la generación de una tasa de sedimentación muy alta en Puerto Rosales. Para ello se analiza la distribución de la concentración de sedimentos en suspensión en la columna de agua, velocidad y dirección de las corrientes, así como también las condiciones meteorológicas correspondientes a un ciclo de marea completo. Se identifica la importancia de los vientos del sector SE, los que al coincidir con la dirección de mayor fetch, generan olas que actúan sobre las planicies de marea aledañas al puerto, aumentando notablemente la concentración de sedimento en suspensión. Se concluye que la resuspensión del sedimento en suspensión, producto de la acción de las olas sobre las planicies, es la responsable de la alta tasa de sedimentación que históricamente ha presentado Puerto Rosales.

Para disminuir la velocidad de sedimentación del puerto se propone evitar el ingreso de agua con concentraciones muy altas de sedimento en suspensión mediante la construcción de una barrera que atraviese la planicie de marea. Al mismo tiempo se propone proteger y una manera de propiciar el desarrollo de la *Spartina alterniflora* sobre la marisma con el objeto de disminuir la generación de sedimento en suspensión.

Palabras claves: tasa de sedimentación, concentración de sedimento en suspensión, barrera, *Spartina alterniflora*, Puerto Rosales.

ABSTRACT

Processes involved in the generation of an abnormally high siltation rate in Rosales harbor are studied. The vertical distribution of suspended sediment concentration related to tidal currents and meteorological conditions during a complete tidal cycle is analyzed. The importance of the southeastern winds is identified. Because the coincidence with the maximum available fetch, winds from this sector are responsible to generate waves that act over the tidal flats near the harbor and notably increase the suspended sediment concentration of the area. It is concluded that the excess in suspended sediment generated by this way is responsible for the high siltation rate that Rosales harbor has historically presented. In order to diminish the harbor siltation rate, the income of water with high suspended sediment concentrations can be arrested constructing a barrier across the entire intertidal area. To protect and propitiate the development of a *Spartina alterniflora* marsh to diminish the suspended sediment excessive generation it is also proposed.

Key words: siltation rate, suspended sediment concentration, barrier, *Spartina alterniflora*, Rosales Port.

INTRODUCCION

Con el objeto de introducir mejoras en los sectores costeros para un mejor aprovechamiento desde el punto de vista económico, es común que se construyan rompeolas o muelles, se realicen tareas de dragado, se determinen sitios para la ubicación del material refulado, etc. Muchas de estas modificaciones son efectuadas sin la previa realización de estudios que permitan conocer la dinámica del lugar y así poder prever las modificaciones originadas en el ambiente a causa de su ejecución, e implementar las acciones pertinentes.

Modificaciones realizadas en el sector costero pueden tener impactos negativos o positivos sobre el ecosistema y el dragado no es una excepción. En otros países las tareas de dragado en sus puertos se constituyen en un medio de fundamental importancia para el desarrollo socio-económico. Es así que en Bélgica (Mieghem, *et al.*, 1997), Alemania (Köthe, 1997), India (Luypaert, 2000), Australia (Murray, *et al.*, 1994), Inglaterra (De Silva, *et al.*, 1994), Estados Unidos y Holanda (Pipai, 1995) se realizan exhaustivos estudios para conocer detalladamente los diferentes procesos que tienen lugar en el ambiente, tratando de que las modificaciones que en él se realizan tengan el menor impacto posible. Es así que los materiales extraídos del dragado, en la mayoría de los casos ubicados en cercanías al sitio donde se realizaron dichas tareas debido a los bajos costos de transporte, convierten la zona, por ejemplo, apta para la agricultura, recreación, industrias, etc. Previamente se realizan exhaustivos estudios y evaluaciones para conocer detalladamente los diferentes procesos que tienen lugar en el ambiente y así poder determinar el mejor programa de aplicación.

Los factores físicos-geológicos que son indispensables conocer en el ambiente marino-costero incluyen a las corrientes de marea, las olas, los vientos, la geomorfología y la

sedimentología. Es necesario también comprender su interrelación, ya que la dinámica de los sedimentos en este ambiente, conjuntamente con la geomorfología submarina asociada, está controlada por la interacción de varios procesos, como ser la amplitud y la velocidad de las corrientes de marea, las olas y las tormentas. Conocer y comprender el origen y desarrollo de los procesos que intervienen es indispensable para poder efectuar un manejo adecuado de las zonas costeras, evitando así la futura generación de problemas tanto ambientales como socio-económicos de difícil solución.

El objetivo del presente estudio es determinar los procesos e interacciones que causan una alta velocidad de sedimentación en un canal de acceso y sitios de amarre a un puerto. Sólo después de lograr un conocimiento adecuado de tales procesos, será posible instrumentar medidas que puedan conducir a solucionar el problema de sedimentación en forma adecuada, tratando de obtener una óptima utilización de la infraestructura portuaria.

AREA DE ESTUDIO

Puerto Rosales es uno de los puertos que integra uno de los complejos portuarios de aguas profundas más importantes de la Argentina. Está ubicado sobre la costa norte del Canal Principal del estuario de Bahía Blanca, constituyéndose como el puerto más externo de dicho sistema (Fig. 1). Esquemáticamente, se encuentra formado por un muelle y espigón de piedras que se extiende con dirección norte-sur, perpendicular a la costa. Hacia el sector este del mismo se encuentra una extensa planicie de marea constituida principalmente por material arenoso con una gran proporción de limo-arcilla.

El puerto presenta condiciones naturales importantes desde el punto de vista del desarrollo portuario, lo cual le confiere ciertas

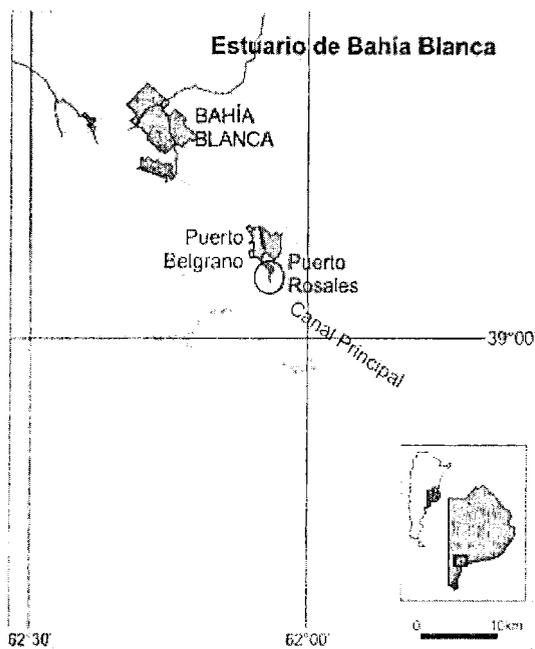


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

ventajas frente al resto de los puertos que constituyen el sistema portuario. En primer lugar las distancias que deben recorrer las embarcaciones para arribar al mismo son menores respecto a los otros puertos, y en segundo lugar porque la porción del Canal Principal próxima posee profundidades naturales superiores a los 20 metros. A pesar de dichas ventajas, Puerto Rosales nunca pudo desarrollarse comercialmente debido a que históricamente ha presentado una alta tasa de sedimentación en su canal de acceso y sitios de amarre, siendo sólo apto para el ingreso de embarcaciones de pequeño calado.

Es así que la sedimentación que ha sufrido el puerto ha demandado grandes esfuerzos para tratar de mantenerlo con profundidades operativas, tanto desde el sector estatal como desde el privado (Melo *et al.*, 1997). En 1922, el Ministerio de Obras Públicas (MOP) obligaba a los concesionarios a mantener las profundidades en 9 metros (30 pies). Dicho requerimiento fue cambiando con el tiempo, disminuyéndose la profundidad requerida de-

bido a que ningún concesionario pudo llegar a mantener profundidades superiores a los 5,5 metros (18 pies), alegando que los altos costos que implicaba el mantenimiento de las profundidades requeridas no eran compensatorios con la explotación del puerto. Finalmente en 1971, la Administración General de Puertos realizó un dragado a 8 metros (26,4 pies), sin efectuarse posteriormente ningún tipo de tareas para mantener dicha profundidad.

La evolución de la tasa de acumulación que sufrió el puerto en su canal de acceso y sitio de amarre desde el dragado efectuado en 1971 hasta el año 1990 fue estudiado por Cuadrado *et al.* (1996). Los resultados mostraron una gran sedimentación durante los diecinueve años comprendidos, registrándose la máxima acumulación de 1,6 metros en el primer año a partir del dragado. Luego de 10 años, la acumulación se mantuvo constante con una tasa de 6 cm/año durante los últimos 8 años.

Luego del dragado de 1995 y con el objeto de proteger al puerto de la sedimentación pero sin basarse en estudios previos, se modificaron las condiciones naturales del área (Federici *et al.*, 2000). En esta oportunidad se ubicaron sobre la planicie intermareal, al este del puerto, a manera de barrera discontinua, dos embarcaciones de 40 metros de eslora en la porción media baja de la planicie, y los materiales extraídos durante las tareas de dragado en el sector alto de la planicie de marea (Cuadrado *et al.*, 2000) (Fig. 2).

METODOLOGIA

Para conocer la concentración y evolución de los sedimentos en suspensión en la columna de agua y las características de las corrientes de marea en el canal de acceso a Puerto Rosales, se efectuó un monitoreo horario durante un ciclo de marea completo. Para poder realizar la determinación de dichos parámetros se dispusieron dos estaciones (Fig. 2), una en el canal de acceso al puerto, cercana

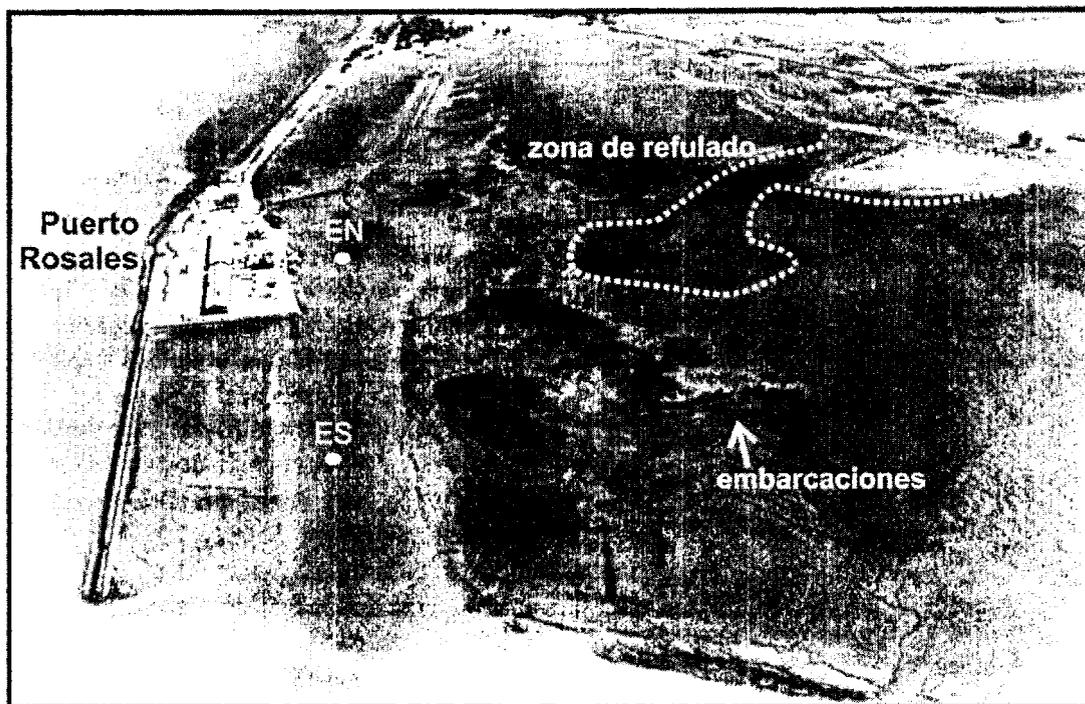


Figura 2. Ubicación de las estaciones de muestreo (EN, ES). Se observa el emplazamiento de los materiales dragados y las embarcaciones fondeadas en el área de estudio.

el Canal Principal (EN) y otra en los sectores de amarre (ES), con una separación entre ambas de 550 metros. Se utilizó una lancha de 12 metros de eslora, la cual se desplazaba de una estación a la otra con intervalos de 30 minutos. El posicionamiento de la embarcación se realizó mediante el empleo de un GPS (Global Positioning System) trabajando en modo diferencial en tiempo real (con errores menores a 3 m).

Para medir la concentración de sedimentos en suspensión y su variación dentro de la columna de agua, se utilizó un OBS (Optical Backscattering Sensor). Posteriormente, para transformar los datos obtenidos por el OBS a m^{-1} , se realizó una curva de calibración utilizando muestras de sedimento, extraídas durante el trabajo de campo. Para determinar las características de las corrientes de marea, velocidad y dirección, se utilizó un correntómetro Valeport, midiendo en cinco niveles

durante 2 minutos en cada estación. Suponiendo un perfil logarítmico de la distribución vertical de la velocidades, las mediciones se distribuyeron cada 0.6 m en los tres niveles cercanos al fondo y más espaciadas, a profundidades dependientes del estado de marea, en los dos niveles superiores. Simultáneamente, fueron obtenidos registros de vientos de una estación meteorológica ubicada en el puerto durante el período de la campaña. Estos datos se registraron a intervalos de 30 minutos en km/h.

Para determinar la velocidad de sedimentación del puerto se compararon cartas batimétricas de relevamientos realizados en el canal de acceso al puerto y sitios de amarre, proporcionadas por la Administración de Puerto Rosales y por el Consorcio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca. De la comparación de una carta batimétrica con la sucesiva se obtuvieron mapas residuales. Los sondeos ba-

timétricos se realizaron en piernas longitudinales de dirección E-O (perpendicular al sitio de amarre y espigón), con un espaciamiento entre 20 y 80 m. La profundidad de todas las cartas se encuentra referida al nivel de reducción del mareógrafo de Puerto Belgrano.

Se seleccionó un área común a todas las cartas batimétricas y posteriormente se realizó un grillado cuadrado de 10 m de lado en donde se volcaron los datos extrapolados de profundidad. Por comparación nodo a nodo de dos cartas consecutivas se obtuvieron los mapas residuales, los cuales reflejan la acumulación y erosión en malcanzada durante los períodos considerados. Posteriormente se emplearon los valores de acumulación promedio para la determinación de la velocidad de sedimentación dentro del canal de acceso y sitio de amarre.

RESULTADOS

Para determinar los procesos que causan una gran sedimentación en el canal de acceso y sitios de amarre al puerto se analizaron los datos de las corrientes de marea y el sedimento en suspensión medido. También fueron analizados los cambios en las condiciones meteorológicas registrados durante el ciclo de marea en que se realizaron las mediciones. Se determinó que existe una relación directa entre la concentración de sedimentos en suspensión y el estado de la marea (Fig. 3). Durante el flujo, la concentración de material en suspensión (CMS) es baja (75 mg l⁻¹ como máximo), mientras que durante el reflujó existe un aumento en la CMS (alcanzando 240 mg l⁻¹). Al inicio de las mediciones (6:20), la distribución de la CMS fue casi homogénea entre las dos estaciones, siendo la máxima concentración de 40 mg l⁻¹ en el fondo de la ES. A medida que la altura de marea aumentó, la CMS también fue aumentando. En primer lugar (9:00), se registró un aumento en el fondo

de la ES alcanzando máximos valores de 75 mg l⁻¹, disminuyendo en toda la columna de agua hacia el interior del puerto. Luego (10:00), se reconoció en el fondo de la EN un aumento hasta valores de 65 mg l⁻¹, mientras la CMS en superficie se mantuvo en 35 mg l⁻¹, disminuyendo la concentración de sedimentos en la columna de agua hacia el Canal Principal.

Durante el reflujó (15:05), la CMS en el fondo siguió aumentando en la EN hasta alcanzar los máximos valores de 110 mg l⁻¹, y de 240 mg l⁻¹ en la ES luego de la media marea bajante (16:54). En ese momento, coincidiendo con las máximas velocidades de bajante, la CMS aumentó en toda la columna de agua, alcanzando valores en superficie de 65 y 80 mg l⁻¹ para ES y EN respectivamente. Al finalizar el ciclo de marea, la CMS disminuyó en toda la columna de agua (18:05), donde la CMS en el fondo no excedió los 115 y los 85 mg l⁻¹ para la ES y EN respectivamente, mientras que en superficie la concentración fue levemente superior a 60 y 40 mg l⁻¹ para ES y EN respectivamente.

En la Figura 4 se muestran las corrientes de marea registradas en cada uno de los 5 niveles medidos a lo largo del ciclo de marea. En la ES se observan claramente las diferencias en las velocidades durante las mediciones. En el reflujó las máximas velocidades de las corrientes alcanzan los 30 cm s⁻¹ en todos los niveles, mientras que durante el flujo no se alcanza dicho valor. La característica más importante que se aprecia en la distribución de las corrientes de marea es que éstas se presentan en sentido NO-SE. Las corrientes en ambas estaciones se comportan siguiendo un esquema similar, aunque la distribución en la estación EN es un poco más heterogénea que en la estación ES. Ello se puede deber a que las corrientes al llegar a la parte interna de puerto son más débiles y por ende las fluctuaciones en la dirección se manifiestan en una medida mayor.

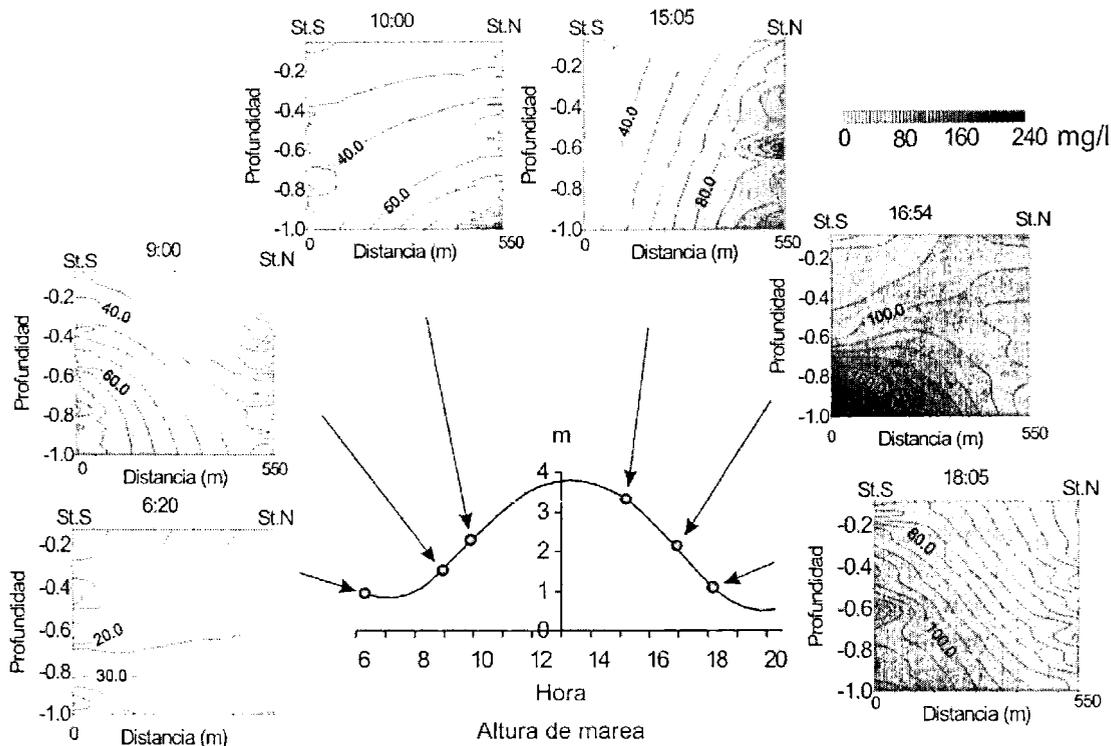


Figura 3. Variación de la concentración de sedimentos en suspensión durante el ciclo de marea. Las profundidades están normalizadas.

La variación de la velocidad y dirección del viento durante el ciclo de marea se presenta en la Figura 5. Dichos parámetros se modificaron abruptamente coincidiendo aproximadamente con la pleamar. Durante la creciente el viento sopló desde el cuadrante NO a una velocidad menor a 20 km h^{-1} , mientras que durante la bajante el viento cambió al cuadrante SE con velocidades superiores a 20 km h^{-1} .

DISCUSION

Causa de la alta velocidad de sedimentación

La influencia del viento en la modificación de los parámetros físicos es de fundamental importancia en la zona de estudio. Este hecho queda reflejado en el notable aumento de la CMS a partir del cambio de la dirección del viento hacia el sector SE y el incremento de

su velocidad. Dicha dirección es la de mayor distancia para que el viento genere olas que inciden en Puerto Rosales. Por lo tanto, el incremento de CMS en el sector portuario puede ser explicado por el accionar de las olas, que al disipar su energía sobre las planicies de marea ubicadas sobre el sector este, resuspenden el sedimento de fondo produciendo un incremento en la CMS del agua que circula en todo el área.

Por su parte, las corrientes de marea medidas en el canal de acceso y sitios de amarre al puerto indican la existencia de una importante componente transversal, la cual sería la principal responsable de transportar hacia la zona portuaria el sedimento que es puesto en suspensión por acción de las olas sobre las planicies adyacentes. Este sedimento sólo puede depositarse, y permanecer depositado durante la totalidad del ciclo de marea,

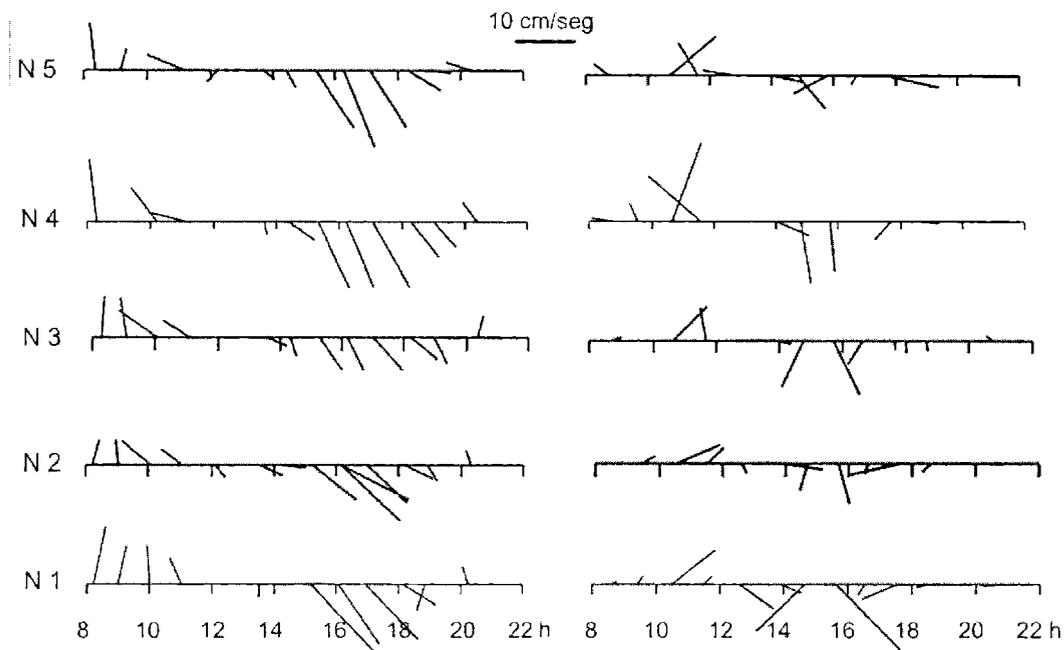


Figura 4. Comportamiento de las corrientes de marea en cada nivel (N) medidos durante el ciclo de marea en las dos estaciones. N1 corresponde al fondo y N5 a la superficie de la columna de agua.

sólo en aquellos lugares caracterizados por una muy baja energía ambiental, como efectivamente lo son los sitios de amarre y canal de acceso al puerto.

Consecuencias de las modificaciones ambientales de 1995

Para evaluar la efectividad de la barrera discontinua construida en 1995, se analizó la evolución de la profundidad promedio del canal de acceso a los puertos y sitios de amarre, desde antes de dicha modificación. Para ello se compararon tres períodos. El período 1972-1990 a partir de un dragado a 8 metros de profundidad, el período 1995-2000 luego de un dragado a 6 metros y el período 2000-2001 luego de un dragado a 4 metros.

En la Figura 6 se puede observar la evolución de la profundidad promedio del sector dragado durante los tres períodos considerados. El valor de la pendiente de la curva en un

punto determinado indica la velocidad de sedimentación promedio para ese punto, la cual no es constante, ya que es máxima inmediatamente después del dragado y progresivamente disminuye con el transcurso del tiempo. Ello se debe a que si bien el caudal de agua intercambiado durante el ciclo de marea es constante, tanto la sección como la velocidad de las corrientes máximas dentro del puerto no son constantes en un período donde se involucran tareas de dragado. Es así que luego del dragado, el puerto presenta su máxima sección (máxima profundidad) y consecuentemente la velocidad del intercambio de agua es mínima, favoreciendo la sedimentación. Al disminuir la sección del puerto con el transcurso del tiempo (menor profundidad), aumenta la velocidad de intercambio de agua y por lo tanto disminuye la velocidad de sedimentación. Si las condiciones ambientales no se modifican, la profundidad disminuye pro-

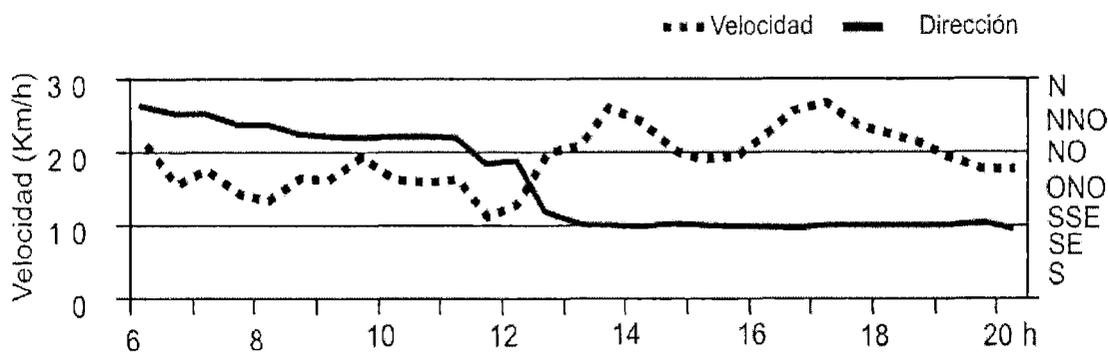


Figura 5. Variación de la velocidad y dirección del viento durante el ciclo de marea.

gresivamente hasta que después de un determinado tiempo se estabiliza en lo que podría denominarse profundidad promedio de equilibrio. En el periodo 1972-1990 (Fig. 6), la profundidad promedio de equilibrio tuvo un valor aproximado de 0,60 metros.

Debido a que en cada período comparado difirió la profundidad de dragado, la comparación directa de la velocidad de sedimentación entre periodos debe efectuarse necesariamente sobre la base de profundidades iguales o similares. Por lo tanto, el rango de profundidad común a los tres periodos comparados corresponde al intervalo entre los 1,75 y 3,5 m. Dentro de este rango resulta evidente que la velocidad de sedimentación se ha incrementado notablemente en cada período sucesivo (Fig. 6), ya que en el primer periodo (1972-1990) su colmatación se produjo en 52 meses, en el siguiente periodo (1995-2000) en 16 meses y llevó tan sólo 9 meses en el último periodo.

Luego de un dragado a 4 m en 2002 y a pesar del poco tiempo involucrado en esta última comparación (octubre de 2002 a junio de 2003), se puede establecer una clara tendencia en la sedimentación actual ya que se acumularon 1.44 m durante un total de 7,5 meses. Ello indica una tasa de sedimentación de 0.192 m/mes, mientras que en la comparación de 2000-2001, que abarcó casi 9 meses,

la acumulación fue de 1.76 m, lo cual revela una tasa de 0.195 m/mes. Ambas tasas son similares, lo cual estaría indicando una estabilización en la tasa de sedimentación del puerto, aunque a valores notablemente más altos que los históricos (periodo 1972-1990).

Lo expuesto precedentemente revela sin lugar a dudas que las modificaciones efectuadas en el ambiente en 1995 afectaron de manera significativa el ambiente portuario y las planicies circundantes. Los sedimentos refulados ubicados en el sector alto de la planicie de marea fueron contenidos por mangueras de geotextil, las cuales con el transcurso de los meses comenzaron a deteriorarse hasta romperse. Entonces, los sedimentos originalmente contenidos quedaron disponibles al accionar de las olas y corrientes, contribuyendo de esta forma a aumentar la cantidad de sedimento en suspensión que circula en el ambiente. Por otro lado, las embarcaciones fondeadas en la parte baja de la planicie de marea, modificaron las características de las olas. La pared vertical rígida e impermeable que conforman las embarcaciones varadas actúa como una superficie reflectante para el oleaje incidente, y es por ello que las olas incidentes pierden muy poca energía al reflejarse. Por tal motivo, la suma de la onda incidente y reflejada origina una ola estacionaria en la que los movimientos

horizontales se anulan mutuamente, pero el desplazamiento vertical se suma, dando como resultante una ola que presenta el doble de energía (doble altura) que la onda incidente original. Este hecho provoca una profundización del fondo en cercanías de los buques y el consecuente aumento de la CMS en el ambiente.

Efecto de la vegetación en la marisma

Otro factor que estaría relacionado con la variación de la energía en la zona de estudio es la población de *Spartina alterniflora* que conforma la marisma adyacente al sector portuario. Según estudios de Frey y Basan (1985) tendientes a determinar la disminución de la erosión y la retención de sedimentos por medio de este tipo de vegetación sobre las planicies, la energía de la ola puede disminuir hasta en un 92% y puede causar una pérdida en la altura de ola de hasta 71%. Teniendo en cuenta dichos resultados, la presencia del espartillar en las planicies adyacentes a Puerto Rosales produciría una disminución apreciable de la cantidad de material sedimentable que ingresa a los sitios de amarre, y en consecuencia una reducción de la velocidad de colmatación del mismo.

Estudios recientes (Federici *et al.*, 2003) han detectado que en los últimos 10 años esta vegetación ha experimentado una notable expansión sobre las marismas, la cual estaría relacionada con el control de vertidos crónicos de hidrocarburos al mar producidos en una planta petrolera ubicada al este del puerto. En varios países (Yang, 1998; Castillo, 2001; Cagnoni, 1999; Netto *et al.*, 1997; Asano, 1992) se ha demostrado que la protección del medio ambiente en este sentido tiene consecuencias positivas en todo el área circundante. Por lo tanto, la protección de dicha vegetación, además de propiciar su desarrollo y expansión en el área bajo estudio, podría traer aparejado importantes beneficios económicos indirectos al puerto.

Posibles soluciones

Conociendo los procesos responsables que intervienen en el aumento de la CMS en las planicies de marea vecinas a Puerto Rosales, se pueden establecer dos propuestas para solucionar o al menos disminuir la velocidad de sedimentación en el puerto. Una opción es evitar el ingreso al puerto de agua con exceso de sedimento en suspensión desde donde éste se genera, mientras que otra solución sería reducir la generación del sedimento en suspensión que ocurre en las planicies de marea.

El ingreso al puerto de concentraciones excesivas de sedimento en suspensión puede evitarse mediante la construcción de una barrera continua que atraviese la totalidad de la planicie intermareal. Su altura debería ser superior al nivel de mareas excepcionales y que debería llegar hasta una profundidad limitada por su posible interacción con las corrientes de marea en el Canal Principal, ya que esta interacción podría alterar el transporte litoral de arena en la entrada del puerto.

La evaluación de la viabilidad de dicha propuesta se realizó mediante el empleo de un modelo matemático hidrodinámico realizado por Pierini y Perillo (2003). Para evaluar la efectividad y evitar o disminuir potenciales efectos negativos de dicha obra, se probaron diferentes extensiones de la defensa. Se determinó que la barrera debería ser construida hasta los 4 metros de profundidad, ya que una de menor longitud (a menor profundidad) permitiría el pasaje de agua proveniente de las planicies de marea hacia el interior del puerto; mientras que una barrera de mayor longitud (y por lo tanto a mayor profundidad), podría generar un banco de arena en la entrada del puerto por la interacción con la deriva litoral (Cuadrado *et al.*, 2004).

Por otra parte, la reducción de la generación del sedimento en suspensión en las planicies de marea podría ser lograda mediante el desarrollo del espartinar, ya que la colonización de las planicies por *Spartina alterniflora*

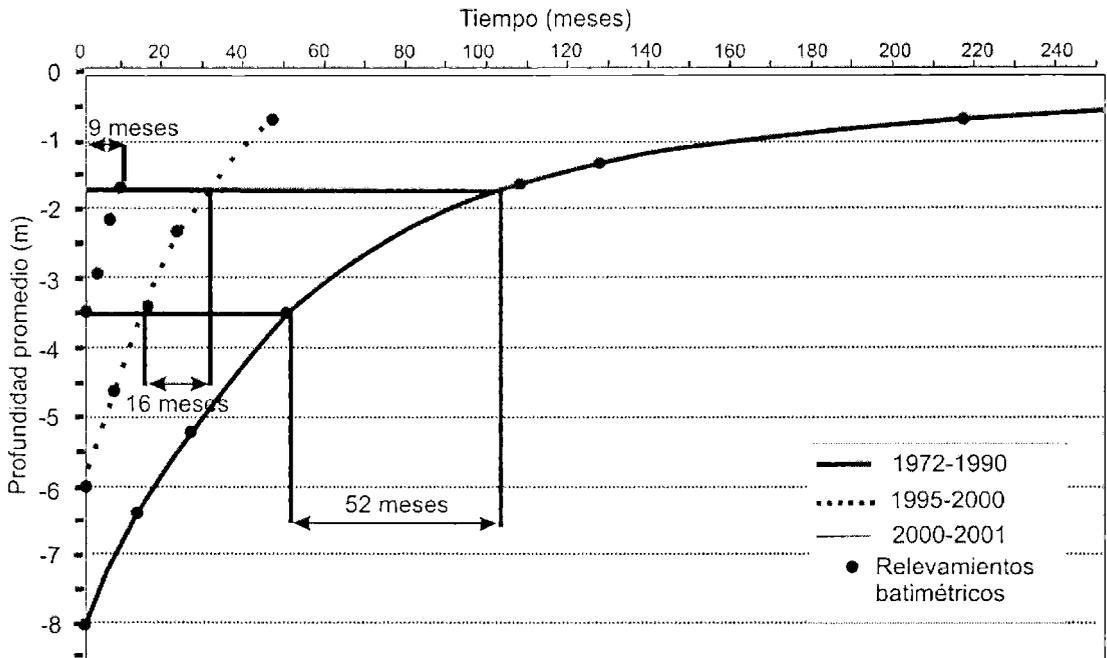


Figura 6. Evolución de la profundidad promedio en diferentes períodos.

entrapa gran parte de los sedimentos que están siendo transportados en suspensión, mientras que la densidad de su malla radicular aumenta la resistencia de las planicies a la acción erosiva de las olas. Es por ello que es posible prever que la presencia y expansión del espartillar en la zona produciría entonces una disminución en la cantidad de material sedimentable que ingresa al puerto, disminuyendo su velocidad de colmatación, redundando de esta forma en un notable beneficio para las actividades portuarias.

CONCLUSIONES

Con el presente estudio se demuestra que la causa primaria por la que Puerto Rosales presenta una velocidad anormalmente alta de sedimentación tiene su origen en el ingreso al sector portuario de agua con concentraciones muy altas de sedimento en suspensión. Estas se originan por la erosión que provoca el oleaje sobre las planicies intermareales contiguas al puerto.

Al no haberse basado en estudios previos adecuados para conocer la hidrodinámica del lugar, las modificaciones introducidas en el año 1995 en el ambiente marino costero condujeron a incrementar de forma alarmante la velocidad de sedimentación en el canal de acceso y sector de amarre del puerto, con el consecuente impacto negativo para el desarrollo portuario.

A pesar de ello y aunque involucra un corto período de tiempo, la desaceleración observada en el aumento de la velocidad de sedimentación entre los dos últimos períodos indica una clara tendencia hacia la estabilización.

Dicha desaceleración sería causada primariamente por la disminución de las fuentes de sedimentos que se generaron a partir de las modificaciones introducidas en 1995. Sin embargo, esta desaceleración podría estar simultáneamente propiciada por la presencia y expansión recientemente detectada del espartillar, ya que este vegetal incrementa la resistencia de las planicies y simultáneamente inmoviliza gran parte del sedi-

mento que está siendo transportado por la masa de agua.

Una forma de disminuir el exceso de sedimentación en Puerto Rosales es evitando el ingreso de agua con concentraciones muy altas de sedimento. Ello podría conseguirse mediante la construcción de una barrera no reflectiva que atraviese la planicie de marea en su totalidad hasta una profundidad que no superase los 4 m para que no interactúe de forma negativa con las corrientes del Canal Principal. Otra forma de disminuir la velocidad de sedimentación dentro del puerto es evitando la generación del exceso de sedimento en suspensión en las planicies vecinas a Puerto Rosales, lo cual en gran parte podría ser logrado protegiendo y propiciando el desarrollo del espartillar en toda la zona intermareal.

Agradecimientos: Este trabajo fue subsidiado por los proyectos financiados por UNS (PGI24/ZH08), CONICET (PEI N°6025-N°6427-PIP N°2611) y SGCyT (2003 N°07-14652)

REFERENCIAS

- Asano, T., H. Deguchi, and N. Kobayashi, 1992. Interaction between water waves and vegetation. Proceedings of the 23rd. International Conference on Coastal Engineering, Venice, Italy. 2710-2723.
- Cagnoni, M., 1999. Espartillares de la costa bonaerense de la República Argentina. Un caso de humedales costeros. En: Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica. Ana Inés Malvaréz (Ed) UNESCO Montevideo 224, 51-67. (Oficina Regional de Ciencia y Técnica de la UNESCO para América Latina y Caribe). Montevideo, Uruguay.
- Castillo, J.M., 2001. Ecología y fisiología comparadas de *Spartina marítima* y *Spartina densiflora* en marismas mediterráneas. Aplicaciones al control y la prevención de la erosión en las Marismas del Odiel. Tesis doctoral (Inédito). Universidad de Sevilla.
- Cuadrado, D.G, E.A. Gómez, J. Pierini and G.A. Federici, 2004. A possible solution to Rosales Harbour excessive siltation rate (Bahía Blanca Estuary, Argentina). Journal of Coastal Research. En prensa.
- Cuadrado, D.G, W.D. Melo y E.A. Gómez, 1996. Evolución de la tasa de sedimentación en Puerto Rosales, Estuario de Bahía Blanca. VI Reunión de Sedimentología. Actas:261-266.
- Cuadrado, D.G., G.A. Federici, E.A. Gómez and M. Natali, 2000. Modification on Rosales Port Sedimentation Rate, Argentina. Revista Profile, 18 (CD-Room).
- Federici, G.A., D.G. Cuadrado, E.A. Gómez y M. Natali, 2000. Influencia de la Alteración Ambiental en la Tasa de Sedimentación en Puerto Rosales, Estuario de Bahía Blanca. Resúmenes IV Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar, Argentina. 62.
- Federici, G., E. Gómez, D.G. Cuadrado y M. Borges, 2003. Influencia de la *Spartina alterniflora* en la sedimentación de Puerto Rosales. Res V Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar, XIII Coloquio Argentino de Oceanografía. 105.
- Frey, R.W. and P.B. Basan, 1985. Coastal salt marsh. En: Coastal sedimentary environments. Davis, R.A. (Ed). Springer-Verlag, New York, Berlín. Heidelberg. Tokyo, 101-159.
- Melo, W., D.G. Cuadrado y E. Gómez, 1997. Importancia de las condiciones ambientales en la planificación territorial del área de Puerto Rosales. Actas 1° Jornadas Nacionales de Geografía Física. 147-152.
- Netto, S.A and P.C. Lana, 1997. Influence of *Spartina alterniflora* on superficial sediment characteristics of tidal flats in Paranaguá Bay (South-eastern Brazil). Estuarine, Coastal and Shelf Science, 44:641-648.
- Paipai, E., 1995. Environmental enhancement using dredging material. International Journal on Public Works, Ports & Waterways Developments. Terra et Aqua, 59:5-21.
- Pierini, J.O. y G.M.E. Perillo, 2003. Evaluación de un Modelo de Circulación en Ambientes Intermareales. Res V Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar, Mar del Plata, Argentina. 153.
- Yang, S.L., 1998. The role of Scirpus Marsh in attenuation of hydrodynamics and retention of fine sediment in the Yangtze Estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 47:227-233.