

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL SEDIMENTO DE FONDO EN EL RIO DE LA PLATA, EN LA REGION DE PUERTO CARMELO, CON EL EMPLEO DE TRAZADOR RADIOACTIVO

Jefferson Vianna Bandeira⁽¹⁾, Geraldo Godinho Pinto⁽¹⁾, Roberto S. Antola⁽²⁾, Alejandro Malek⁽²⁾, Beatriz S. Ameigenda⁽²⁾, Maria L. Bonanni Parada⁽²⁾, Hugo A. Fraga⁽²⁾, Diego Del Monte⁽²⁾, Anna Firpo⁽²⁾, Walter Cabral⁽²⁾, Rosario Odino⁽²⁾, Mary Postiglione⁽³⁾, Graciela De León Magnani⁽³⁾, Jaime B. Gorfain⁽³⁾, Aldo Cruz⁽³⁾, Heber Longoni⁽³⁾, Hector Cane⁽³⁾, Silvia M. Tasende⁽⁴⁾

INTRODUCCION

Este trabajo está relacionado con los estudios sedimentológicos con la utilización de trazadores radiactivos en Puerto Carmelo, en el Río de la Plata, hecho en el marco del proyecto de cooperación técnica del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) URU/8/009, con el objetivo de evaluar el transporte de fondo de la fracción arenosa en el sitio adonde se proyecta el dragado de un nuevo canal de acceso al puerto de la ciudad de Carmelo (Figura 1).

Los estudios, realizados juntamente con mediciones hidráulicas, fueron importantes para:

- La comprensión del mecanismo de transporte de sedimentos bajo la influencia de los agentes hidrodinámicos actuantes: a- corrientes y sus intensidades y direcciones respecto a la influencia meteorológica; b- respuesta de la nube de trazador a la ocurrencia de olas generadas por vientos del cuadrante sur;
- La determinación cuantitativa del transporte de fondo y su aplicación para: la evaluación del dragado de mantenimiento; la calibración de modelos matemáticos para cálculo de transporte de fondo;

(1) - CDTN/CNEN – CP 941 – 30123-970 Belo Horizonte, MG, Brasil. Tel: 031 499-3127;

Fax: 031 499-3249; e-mail: jvb@urano.cdtb.br

(2) - Dirección Nacional de Tecnología Nuclear (DINATEN) – Mercedes 1041, CP 11.100 Montevideo, Uruguay. Tel: (+598 2) 9026919; Fax: (+598 2) 9021619

(3) - Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) – Dirección Nacional de Hidrografía Rincón 575, 2º Piso, Montevideo, Uruguay. Tel: (+598 2) 9064783; Fax: (+598 2) 9064667

(4) - Centro de Investigaciones Nucleares (CIN) – Universidad de la República – Montevideo, Uruguay

- La definición respecto al trazado óptimo del nuevo canal de acceso al puerto local, teniendo como base el resultado del proceso de deposición inicial del trazador, inyectado a 30 cm arriba del fondo.

DESCRIPCION DE LA REGION

La ciudad de Carmelo está ubicada en la orilla izquierda del Río de la Plata, a cerca de 180 km aguas arriba de Montevideo, frente a la desembocadura del brazo del río Paraná, denominado Paraná Guazú (Figura 1). El canal de acceso actual a su puerto, para tránsito de embarcaciones de recreo, es situado al sur de Isla Sola, en la dirección cerca del eje SW-NE, transversal a las corrientes que, en la región, tienen la dirección predominante WNW-ESE. Este canal con 2800 m de longitud sufre un azolvamiento medio del orden de 15.000 m³ anuales (Teixeira e Lorenzo, 1996). Una alternativa para el acceso al puerto de Carmelo sería la construcción de un nuevo canal de acceso con 5200 m, cuya traza proyectada es cerca de la Isla Juncal.

ESTUDIOS REALIZADOS

Para la evaluación de la posibilidad de construcción del nuevo canal de acceso respecto al actual, fueron recomendados (Bandeira, Pinto, 1996):

a) Caracterización hidrodinámica de la zona de estudio a través de mediciones de corriente en los puntos B₁, B₂ y B₃, en la región de la traza proyectada del nuevo canal y punto Par N^o 3 cerca del canal de Isla Sola (Figura 1), teniendo en cuenta también las informaciones de niveles de la costa uruguaya en Puerto Carmelo, en el puerto de Nueva Palmira ubicado a 20 km aguas arriba de Carmelo y en el puerto de Colonia, a 60 km aguas abajo de Carmelo;

b) Toma y análisis granulométrica de 10 muestras de sedimento de fondo a lo largo de toda la traza proyectada del canal de Isla Juncal, con el objetivo del conocimiento detallado de la composición del material de fondo;

c) Estudios cuantitativos del transporte de sedimentos de fondo con la aplicación de trazador radiactivo.

RESULTADOS

Caracterización hidrodinámica

Considerando el periodo de mediciones de corriente entre 11/04/96 y 07/06/96, puede observarse que, de manera general, las corrientes medidas cerca del fondo (0,5 m) son más intensas en la región de Par N^o3 (Isla Sola): 0,19 m/s < V < 0,40 m/s, respecto a la región de estudio B₁, B₂ y B₃ (Isla Juncal) para el nuevo canal: 0,04 m/s < V < 0,26 m/s, debido a que, en el primer

sitio, además de la contribución del Río Uruguay hay también el aporte de aguas del Río Paraná Guazú formando el Río de la Plata.

En los dos sitios, la dirección predominante de corriente es entre 100° y 140° (ESE y SE) siendo que solamente en B₁, debido a se encontrar más cerca de la orilla izquierda, la dirección predominante cambia para el sector 120° a 160° (SE y SSE), influenciada por la barrera presentada por esta orilla.

Todavía, cuando ocurren vientos del cuadrante S, las corrientes son dirigidas hacia el sector WNW a NNE. En estas ocasiones ocurren frecuentemente olas de corto periodo (cerca de 3 s a 4 s), con alturas entre 0,5m y 1,0 m y también hay una elevación del nivel del agua. Esto tiene una notable influencia en el movimiento de sedimentos de fondo, como mostrado más adelante, con los estudios utilizando el trazador radiactivo.

Caracterización sedimentológica

Los resultados de los análisis mostraron que el material de fondo es constituido sobretodo de arena fina ($0,074 < \phi < 0,2$ mm) y limo en una parcela menor.

ESTUDIO DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DE FONDO CON TRAZADOR RADIACTIVO

Metodología de los trabajos

El estudio del transporte de la fracción arenosa del sedimento de fondo fue hecho simulando la arena fina con el trazador constituido de vidrio molido conteniendo iridio 191 (^{191}Ir) en un porcentaje de 0,15% en masa. Al ser irradiado con neutrones en un reactor nuclear, el ^{191}Ir cambia a ^{192}Ir que es un material radiactivo, emisor de radiación gama, con una vida media de 74,4 días. Teniendo en cuenta los resultados del análisis granulométrico de las muestras más representativas del sitio a ser estudiado (entre las boyas B₁ y B₃ – Figura 1), fue escogida la granulometría: $0,074 < \phi < 0,177$ mm.

El trazador es inyectado a través de dispositivos especiales justo arriba de la superficie del fondo o un poco alejado de la misma, dependiendo de los objetivos a ser alcanzados y la nube radiactiva formada en el fondo es seguida por intermedio de un contador de centelleo, preso a un trineo que se desplaza sobre el fondo. El trineo es arrastrado por una embarcación ubicada por intermedio de teodolitos, GPS u otro tipo de posicionamiento. Detecciones completas de la nube son entonces realizadas a lo largo del tiempo, y los resultados cuantitativos de una serie de detecciones pueden ser obtenidos con la utilización del método de la integración espacial. Por este método, el caudal

sólido a través de una área de ancho L_t y espesor de transporte E , es calculado por:

$$Q = \rho \cdot V_m \cdot L_t \cdot E \quad (1)$$

adonde:

ρ = masa específica del sedimento transportado (para arena: $\rho = 2,66 \text{ ton/m}^3$)

V_m = velocidad promedio de desplazamiento de la nube (determinada por las posiciones sucesivas del centro de gravedad de la nube entre dos detecciones), considerada constante en todo el ancho L_t

El espesor de transporte E puede ser calculado por el método del balance de las tajadas de conteo (Sauzay, 1968; Tola, 1982), o a través de determinación directa, por intermedio de toma de muestras en columna del sedimento de fondo en la área activa e investigación de la distribución, en profundidad, de los granos activos.

Inyección

La inyección fue hecha el 01/06/96 a las 13:21 H, en el punto PI (Figuras 1 y 2). La profundidad en este punto, cuando de la inyección, era 1,45 m. La profundidad promedio de la región es del orden de 2 m. La masa inyectada fue de 373 gramos con una actividad de 557mCi, determinada por mediciones hechas en un equipo de análisis multicanal, por DINATEN, en una fracción del material, tomada cuando el frasco del trazador fue abierto.

Justo antes de la inyección fueron hechas mediciones de corriente a lo largo de la vertical en el local, para evaluar la distancia, respecto al fondo, de la apertura del inyector que no resultara en una nube inicial demasiado pequeña. A 0,25 m arriba del fondo, la intensidad de la corriente era 0,18 m/s con la dirección de 120° . Basado entonces en esta información, fue decidido hacer la inyección a 30 cm arriba del fondo.

En seguida a la inyección fue hecha la detección de "mise-en-place" (para verificar la distribución inicial del trazador), con líneas transversales a la dirección 120° , aguas abajo y arriba del PI, sin todavía navegar sobre el mismo, para no perturbar el mezclado natural del trazador con el sedimento del fondo. La detección indicó que el trazador, debido al proceso de decantación hacia el fondo y bajo la influencia de la corriente, quedó distribuido en el fondo, sobretodo en una banda de cerca de 20m de ancho, centrada en la línea que contenía el PI, con la dirección de 120° , la misma de la corriente cerca del fondo en el momento de la inyección.

El ruido de fondo era de 140 cuentas por 6 segundos (c/6s). Hubo una disminución exponencial de los valores máximos de conteos de cada línea hasta se obtener valores de cerca del doble del ruido de fondo a cerca de 430 m aguas abajo del PI.

Detecciones y resultados obtenidos

Fueron efectuadas nueve detecciones entre Junio y Diciembre de 1996. Un resumen de los principales resultados de las mismas se encuentran en la Tabla 1 y Figura 3.

Tabla 1 – Parámetros de las Detecciones de Fondo en Carmelo

Detección.	Fecha	Nº de días	Actividad recuperada (cps·m ²)	C.G. de la nube (Coordenadas UTM)	
				E	N
Inyección	01/06/96	0	---	375.459	6.238.049
2 ^a	04/06/96	3	2.835.941	375.518	6.238.050
3 ^a	05/06/96	4	4.796.037	375.522	6.238.058
4 ^a	07/06/96	6	16.102.329	375.499	6.238.057
5 ^a	18/06/96	17	96.131.271	375.484	6.238.071
6 ^a	11/07/96	40	3.470.082	375.487	6.238.084
7 ^a	22/08/96	82	76.087.974	375.475	6.238.071
8 ^a	08/11/96	160	20.214.073	375.445	6.238.094
9 ^a	04/12/96	182	59.373.717	375.469	6.238.068

La primera detección fue efectuada el 03/06/96 y tuvo el objetivo principal de evaluar, en más detalles, la distribución del trazador en el fondo, inyectado desde 30 cm arriba del mismo, y cubrió una región amplia entre cerca de 200m aguas arriba del PI hasta la región del Canal Camacho, cerca de 2.000m aguas abajo del PI (Figura 2). Así, no se concentró en determinaciones más apuradas cerca del PI y, por ese motivo, no se la procesó como las otras.

Fue posible detectar algunos sitios aislados del trazador hasta las proximidades del canal cuando los valores de conteo quedaron cerca del "background". Esto es debido a la advección del sedimento marcado en suspensión, en su proceso de decantación. Además, una información muy importante obtenida con la distribución inicial del trazador es que: la parte inicial de la nube, comenzando en el PI, estuvo distribuida según la traza proyectada del nuevo canal. Todavía, a la medida que se aproximaba del Canal Camacho, la nube seguía la conformación de las curvas batimétricas (Figura 2), presentando una tendencia de desviación hacia la izquierda de la traza proyectada del canal. Esto es de grande utilidad para corregir la traza del canal, teniendo en cuenta la disminución del futuro azolvamiento (la mejor traza respecto a un azolve más pequeño es aquella que obedece al flujo natural de los

sedimentos en suspensión cerca del fondo y también al transporte de sedimentos en el fondo).

Hasta la tercera detección, la predominancia de las corrientes era hacia ESE. A partir del día 06/06 hubo un cambio meteorológico. El día 07/06 (4ª detección) amaneció con vientos fuertes del sector S (Fuerza 3/4) y olas de cerca de 0,5 m. Las direcciones de corriente en B₃ y B₂ se presentaban para WNW. Al contrario de las detecciones anteriores, en esta fue observado un ligero desplazamiento del sedimento para NW.

Pasados 11 días desde la última detección, la situación de la nube radiactiva (5ª detección) se presentaba de la siguiente manera: hubo un más acentuado desplazamiento de la parte más activa de la nube hacia NW, respecto a la 4ª detección, debido a la ocurrencia de fuertes vientos del cuadrante S entre los días 14/06 y 16/06.

La presencia de olas asociada a las corrientes ayuda al transporte de sedimentos de fondo, principalmente debido al movimiento oscilatorio producido por las olas cerca del fondo, lo cual "desprende" los sedimentos del fondo, facilitando su transporte por las corrientes de origen no undulatoria, por más flacas que sean. Esta fue una importante información experimental obtenida en el presente trabajo.

Los cálculos efectuados (Sauzay, 1968; Tola, 1982) para el espesor del transporte E, indicaron valores iguales o superiores a 25 cm. Estos valores son exagerados pues son debidos a la consideración de que todo el material inyectado permaneció en el fondo y fue detectado, lo que en el presente caso no ocurrió. Toma posterior de muestras efectuadas con "piston core" por DINATEN, indicaron que la capa de arena es de apenas cerca de 2 cm y luego abajo hay un material más duro, de color marrón, con mucha materia orgánica. Así, para este espesor y considerando las posiciones de los centros de gravedad de las nubes de la 2ª y 9ª detecciones (6 meses) ($V_m = 0,29 \text{ m/día}$) se obtiene una caudal sólido de fondo promedio: $Q = 0,0058 \text{ m}^3/(\text{m.día})$ o $0,0154 \text{ ton}/(\text{m.día})$.

Considerando que este caudal fuera siempre transversal al canal proyectado de Isla Juncal (lo que no ocurre) y válido en toda su extensión (5.200 m) por todo el año, el azolvamiento promedio máximo sería del orden de $11.000 \text{ m}^3/\text{año}$.

Solamente para efecto de comparación con el período específico entre la 4ª y 5ª detecciones (11 días) en que hubo tormentas con vientos y olas del cuadrante S: ($V_m = 1,87 \text{ m/día}$) se obtiene una caudal sólido de fondo promedio: $Q = 0,0374 \text{ m}^3/(\text{m.día})$ o $0,0995 \text{ ton}/(\text{m.día})$. Para esos valores, con las consideraciones del párrafo anterior, lo que no es verdadero en la práctica, el azolvamiento máximo sería del orden de $71.000 \text{ m}^3/\text{año}$.

En conclusión podremos estimar, basados en el caudal sólido de fondo determinado con el empleo de trazador radiactivo, que el azolvamiento máximo en el canal proyectado caso sea dragado, sería igual o inferior a 11.000 m³/año, eso porque el periodo de determinación ya engloba ocasión de tormentas y se sabe que las corrientes no son siempre transversales al eje del canal, por el contrario, en grande parte del tiempo son paralelas, lo que disminuye el potencial de azolvamiento.

BIBLIOGRAFIA

- Teixeira, Luis; Lorenzo, E., 1996 "Canal de acceso al puerto de Carmelo. Metodología de estudio y resultados preliminares" – Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería, R.O. del Uruguay.
- Bandeira, J.V.; Pinto, G.G., 1996. "Estudios sedimentológicos en Montevideo y Puerto Carmelo con la aplicación de trazadores radiactivos" – Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) - Informe Final de Misión Proyecto URU/8/009.
- Sauzay, G., 1968. "Méthode du bilan des taux de comptage d'indicateurs radioactifs pour la détermination du débit de charriage des lits sableux" – Rapport CEA-R-3431.
- Tola, F., 1982. "The use of radioactive tracers in dynamic sedimentology – Part I: Methodology; Part II: Analysis of results" – Note CEA-N-2261.

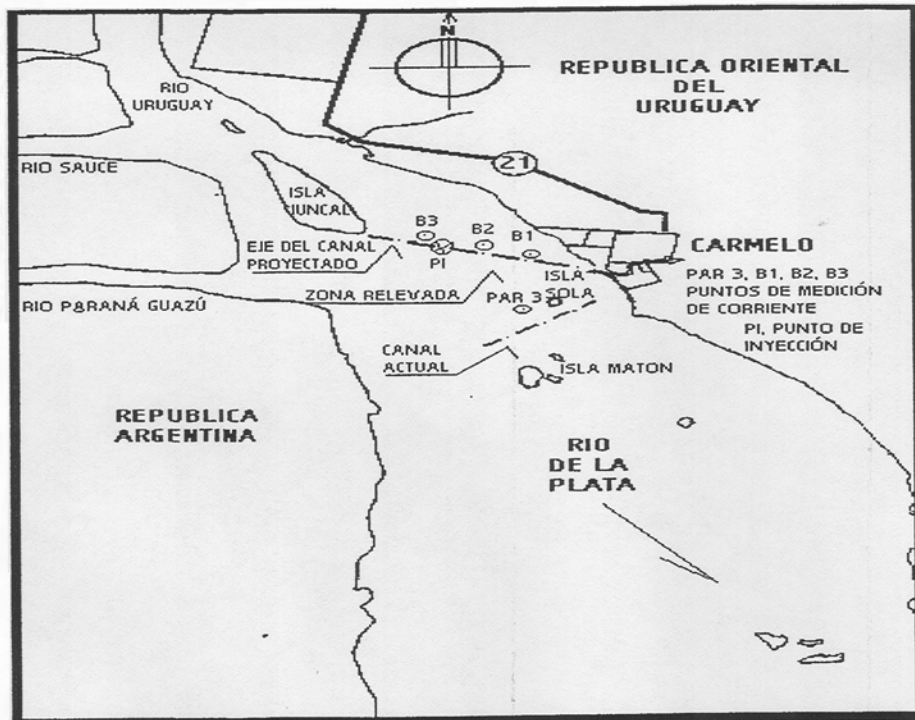


Figura 1 - Plano de Ubicación

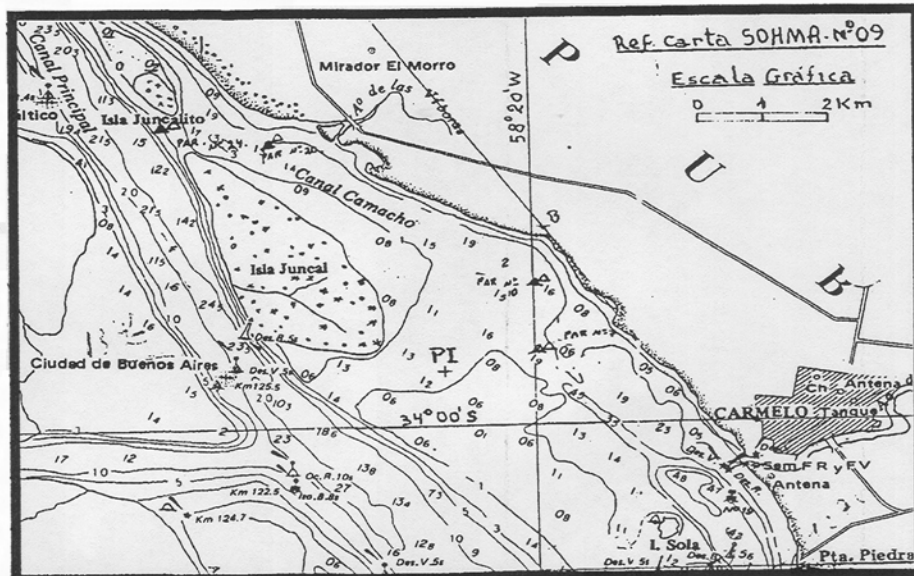


Figura 2 - Batimetría de la Región

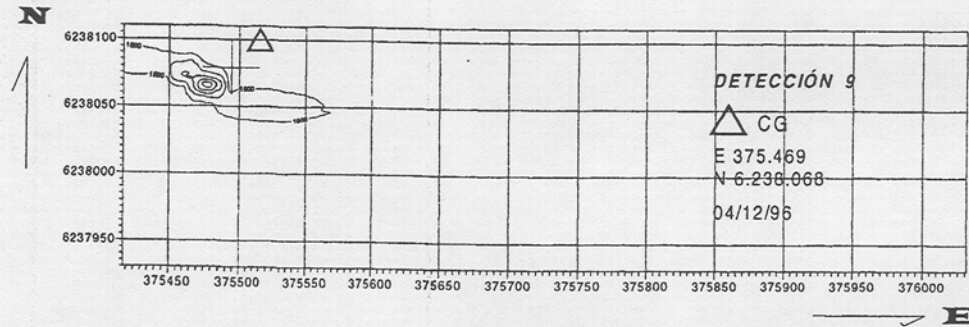
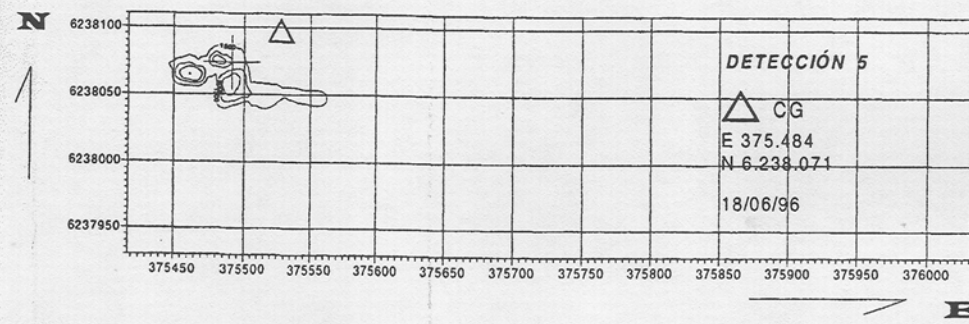
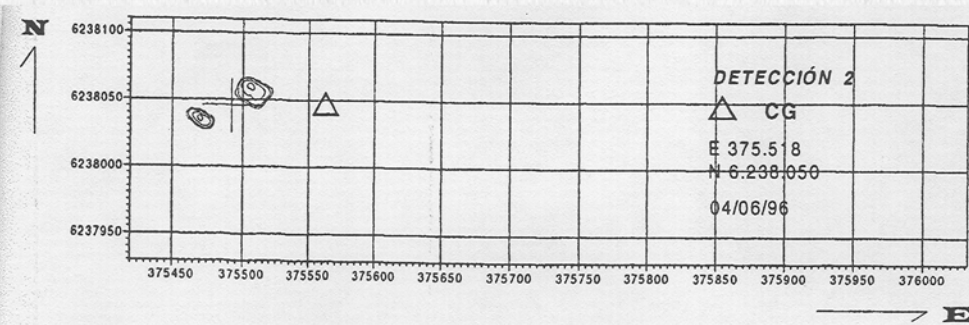


Figura 3 - Detecciones Radiactivas en Carmelo