

ESTUDIOS SEDIMENTOLOGICOS EN LA REGION DE LA BAHIA DE MONTEVIDEO, CON EL EMPLEO DE TECNICAS NUCLEARES Y TRAZADORES RADIATIVOS Y FLUORESCENTES

Geraldo Godinho Pinto⁽¹⁾, Jefferson Vianna Bandeira⁽¹⁾, Roberto S. Antola⁽²⁾, Alejandro Malek⁽²⁾, Beatriz S. Ameigenda⁽²⁾, Maria Luisa B. Parada⁽²⁾, Hugo A. Fraga⁽²⁾, Diego Del Monte⁽²⁾, Anna Firpo⁽²⁾, Walter Cabral⁽²⁾, R. Odino⁽²⁾, Mary Postiglione⁽³⁾, Graciela De León Magnani⁽³⁾, Aldo Cruz⁽³⁾, Jaime B. Gorfain⁽³⁾, Heber Longoni⁽³⁾, Hector Cane⁽³⁾, Jorge D'Angelo⁽⁴⁾, Felipe Ramirez⁽⁴⁾, Luis A. Tapia⁽⁴⁾, Silvia M. Tasende⁽⁵⁾, Pablo Garcia⁽⁶⁾

INTRODUCCION

Este trabajo está relacionado con los estudios sedimentológicos con la utilización de trazadores radiactivos: ^{198}Au (oro-198) y ^{99}Tc (tecnecio 99) y trazador fluorescente (fluoresceína sódica) en la Bahía de Montevideo, incluyendo la región del Río de la Plata cercana a ella (Figura 1a), hecho en el marco del proyecto de cooperación técnica del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) URU/8/009, con los objetivos de evaluar el comportamiento del sedimento fino dragado en el puerto de Montevideo y vaciado aguas afuera de la bahía, en el Río de la Plata, y la dinámica del agua y del material en suspensión en el interior de la misma, siendo la dinámica del agua estudiada utilizando trazador fluorescente.

Estos estudios también contemplaron el empleo de sonda para medición de la densidad de limo del fondo, basada en la transmisión de la radiación γ . La sonda fue desarrollada en el CDTN/CNEN-Brasil, por el autor principal del presente trabajo. Como soporte a estos estudios fueron realizadas mediciones de corriente y de parámetros del agua: concentración in situ de sólidos en suspensión, conductividad, temperatura y salinidad.

-
- (1) - CDTN/CNEN - CP 941 - 30123-970 Belo Horizonte, MG, Brasil. Tel: 031 499-3127; Fax: 031 499-3249. E-mail: jvb@urano.cdtm.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) - Administración Nacional de Puertos (ANP) - División de Operaciones Marítimas
- (5) - Centro de Investigaciones Nucleares (CIN) - Universidad de la República
- (6) - Universidad Católica del Uruguay

DESCRIPCION DE LA REGION

La Bahía de Montevideo es pequeña (16 km²) y esta situada en la orilla izquierda y en el tramo inferior del Río de la Plata (Figura 1b) adonde hay una gran variación de salinidad (Sihn, 1989; Plata et alli., 1992). La circulación del agua en la bahía es sobretodo en el sentido horario, siendo la profundidad natural en el interior de la bahía de 1 a 2 m, teniendo el limo como material predominante.

El acceso al puerto es hecho por un canal dragado a 10 m de profundidad y con longitud de 10 km. En el interior de la bahía este canal sigue hacia Noroeste para permitir el acceso de buques a las instalaciones petroleras de ANCAP (Figura 1a).

El sitio de vaciado de dragado es en el Río de la Plata, al Este del canal de navegación, cerca de 4 km desde la extremidad sur de la escollera Oeste (Figura 1a). El material dragado es sobretodo limo y arcilla, siendo que el fondo presenta una capa extensa con variación de densidad para el estudio de la cual fue desarrollada la sonda nuclear.

Debido a la existencia de industrias en la región de la bahía, hay un vertido de materiales contaminantes directamente en la misma y sobretodo a través de los ríos Pantanoso y Miguelete. Los contaminantes son transportados por el agua y también en los sedimentos finos en suspensión (sobretodo metales pesados), debido a la adsorción. Así, el estudio de la dinámica del agua y de los sedimentos en suspensión son importantes para los estudios ambientales en la bahía. El proyecto del OIEA propició la transferencia de tecnología en el empleo de técnicas nucleares para los estudios mencionados.

ESTUDIOS REALIZADOS

Para el estudio del comportamiento del vaciado de dragado en el Río de la Plata fueron hechos experimentos con el empleo de ¹⁹⁸Au marcando la carga de la Draga 7 de la Administración Nacional de Puertos (ANP), que es una draga del tipo TSHD ("Trailing Suction Hopper Dredger") con 2.690 m³ de capacidad en la tolva. La marcación consistió en promover la adsorción del ¹⁹⁸Au en un volumen de 50 litros de limo homogeneizado en uno circuito cerrado accionado por una bomba hidráulica, y mezclado con el trazador empleando una segunda bomba flujo controlado, justo antes de ser vertido en la tubería de alimentación de la tolva de la draga durante su cargamento (Tola, 1982). Fueron hechos dos marcados de limo en la Draga 7 (Bandeira, Pinto, 1996), siendo el material vertido en el punto de inyección PI (Figura 1a).

El estudio del comportamiento en suspensión del material vaciado fue hecho con el empleo de contadores de centelleo a 4 y 6 m de profundidad,

remolcados por un barco ubicado electrónicamente y, en el fondo, después de la detección en suspensión, con un contador de centelleo acoplado a un trineo.

Para el estudio del comportamiento del limo en suspensión existente en la bahía, fue empleado el mismo procedimiento de marcado para la draga pero haciendo una inyección sub-superficial del sedimento marcado, con una concentración cerca de la natural de los sedimentos en suspensión en la bahía, para no crear corrientes de densidad. La evolución de la nube de material marcado fue rastreada con el empleo de un contador de centelleo, ahora a 0,5 m bajo de la superficie (Bandeira, Pinto, 1997). Debido a la imposibilidad de recibir el ^{198}Au en tiempo hábil para realizar los trabajos, fue empleado, en experimento inédito, el ^{99}Tc en el marcado de sedimento fino. La idea del empleo de éste trazador fue de la Química Beatriz Souto. Los estudios de fijación del ^{99}Tc al sedimento fueron hechos en los laboratorios de DINATEN.

La fluoresceína sódica fue mezclada al limo marcado con ^{99}Tc para se tener una inyección simultánea de los dos trazadores. Para la detección del trazador fluorescente, cuya evolución representa la circulación del agua en la bahía, fue empleado un fluorímetro Turner, modelo 10-AU, teniendo la toma del agua también ubicada a 0,5 m de la superficie. Flotantes fueron empleados para facilitar la visualización del desplazamiento de la nube (Bandeira, Pinto, 1997).

Anteriormente a los trabajos arriba mencionados, fueron hechas mediciones de corriente (perfiles verticales), conductividad, temperatura, salinidad y concentración in situ de sedimentos en suspensión, utilizando para este parámetro, un turbidímetro óptico.

Para la determinación del perfil de densidad de limo depositado en el fondo de la bahía, fue desarrollada una sonda basada en el principio de la transmisión de la radiación γ (Figuras 2a y 2b), presentando las siguientes características:

- Material: latón y acero inoxidable;
- Fuente: ^{241}Am (americio) Amersham tipo X101, código AMC.P4 (14 mCi) con posibilidad de utilización de fuentes de 10 a 100 mCi;
- Distancia fuente-detector: variable de 8 a 30 cm;
- Haz de radiación con posibilidad de ajuste en los tres ejes;
- Detector de radiación: Minekin, modelo 9302;
- Sonda de presión Eclipse (0 a 10 bars);
- Rango de mediciones: 1,0 a 1,3 ton/m³;
- Peso del equipo: 11,5 Kg.

RESULTADOS

Experimentos con ^{198}Au en la Draga 7

En el primero experimento se obtuvieron:

- 1) el limo marcado en suspensión fue desplazado para SO, de acuerdo con la dirección de las corrientes más profundas medidas antes de la inyección;
- 2) debido al nivel de apertura de las puertas de la draga (4 a 5 m), respecto a la profundidad total del sitio de vaciado (8,3 m), y también bajo la influencia del momento vertical descendente y a la corriente de densidad producida por el vaciado, una gran parte del sedimento se desplazó rápidamente para la región más profunda y se depositó en el fondo cerca del sitio de vaciado, lo que fue verificado por una detección de fondo, justo después de la detección en suspensión. Esto no significa que el material de vaciado permanezca en el fondo.

El segundo experimento no fue concluido debido a condiciones climáticas afuera de la bahía (fuerte corriente de crecida asociada a fuertes vientos del cuadrante sur, con intensidades alcanzando 70 a 75 km/h). Estas condiciones impedían las maniobras necesarias a una buena navegación de detección. Así, una vez que el limo en la tolva de la Draga 7 ya fuera marcado en el ante puerto, fue decidido vaciarlo y volver al puerto sin hacer la detección.

Experimentos con ^{99}Tc

En la búsqueda del sustituto para el ^{198}Au , fueron desarrollados en el poco tiempo disponible en el cronograma, estudios preliminares de marcación del limo con ^{99}Tc . Los rendimientos de fijación obtenidos en dos experimentos utilizando dos reductores disponibles fueron:

- (1) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ mezclado con NH_4OH .: 54,0%; (pH > 9)
- (2) SnCl_2 : 77,4%.

Entonces, para el marcado del limo, la reducción del ^{99}Tc con SnCl_2 fue escogida.

Dadas las condiciones excepcionales del presente trabajo y a la media vida corta del ^{99}Tc (6,0 horas), la actividad inyectada fue solamente de 45 mCi. Así mismo, fue posible acompañar la evolución del trazador por cerca de treinta cruces transversales de la nube, lo que no habría sido posible si el estudio hubiera sido de vaciado de dragado pues, bajo la influencia del momento vertical descendente y a la corriente de densidad producida por el vaciado de una draga "hopper" o un ganguile, la mayoría del sedimento se desplazaría rápidamente para la región más profunda, como sucedió en el vaciado hecho con la Draga-7 de la ANP.

Los conteos en los picos mayores, durante la detección, fueron del orden de 20 veces el blanco: de 450 a 500 cuentas por 10 segundos (cp10s), mientras el blanco era del orden de 15 a 25 cp10s. Si la actividad inicial de ^{99}Tc tuviera sido de 1200 mCi, actividad normalmente disponible para aplicaciones médicas

todos los lunes a las 10:00H en Montevideo, y la inyección hecha en este mismo momento, los conteos en los picos podrían tener alcanzado el orden de las 13.000 cp10s, lo que representaría cerca de 650 veces el blanco. Así se abre una gran posibilidad de empleo del ^{99}Tc en estudios sedimentológicos en la Bahía de Montevideo y otros sitios, con la condición de que se tenga una buena fijación del trazador en el limo. Por lo tanto, estudios de fijación y del comportamiento físico-químico y hidrodinámico del limo marcado deben de proseguir en laboratorio.

Detección de fluoresceína sódica

Fueron hechos cerca de cincuenta cruces de la nube y obtenidos cerca de treinta picos bien definidos. El blanco medido fue del orden de 656 ± 18 y fueron obtenidos picks hasta 1000. Los picks, corregidos del tiempo de bombeo, fueron simultáneos con aquellos debido al trazador radiactivo. Fueron tomadas también posiciones sucesivas de los flotantes a lo largo de la detección. La nube tuvo un dirección general hacia Norte.

En conclusión, los resultados de los trabajos con el empleo de limo marcado con ^{99}Tc y el agua con trazador fluorescente permitieron seguir la circulación del agua y de los sedimentos en suspensión desde la apertura Oeste de la bahía hasta la región vecina al sur de la Isla Libertad (Figura 1 a).

Empleo de la sonda nuclear

El equipo fue calibrado en los laboratorios de DINATEN en el rango de densidades ($1,0229$ a $1,1869 \text{ ton/m}^3$), con sedimento tomado del fondo de la bahía, en la región del puerto. Los valores R_1/R_0 adonde R_1 y R_0 en (cpm) en el medio y en el agua, respectivamente, se relacionan con la densidad del medio a través de la ecuación:

$$R_1/R_0 = \exp(-\mu' \rho x) \quad (1)$$

adonde:

μ' = coeficiente de absorción másico del medio (cm^2/g)

ρ = masa específica de la mezcla (g/cm^3)

x = distancia fuente-detector (cm) (x empleado = $11,5 \text{ cm}$)

La ecuación de regresión lineal para los valores experimentales es:

$$\ln(R_1/R_0) = 1,9002 - 1,8679\rho \quad (2)$$

con el coeficiente de correlación $r = -0,9702$.

Las figuras 3a y 3b presentan los perfiles de densidad obtenidos en la Dársena II del puerto (Figura 1a), apuntando un espesor de cerca de $4,0 \text{ m}$ entre las densidades de $1,02$ y $1,20 \text{ ton/m}^3$ de la mezcla de limo y agua, respectivamente, las densidades indicadas por el eco sonda de 200 KHz (profundidad náutica) y la profundidad de maniobra sin riesgo para los buques. La utilización de la sonda en distintos puntos de la región portuaria permitirá

dibujar la curva de densidad = $1,20 \text{ ton/m}^3$, lo que implica en un gran ahorro en términos de gastos en dragado.

BIBLIOGRAFIA

- Comisión Administradora del Río de la Plata compuesta por: Servicio de Hidrografía Naval (SIHN) - 1989- República Argentina; Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada (SOHMA) - República Oriental del Uruguay - "Estudio para la Evaluación de la Contaminación en el Río de la Plata", Informe de Avance.
- Plata, A., Kurucz, A., Vera, C., Suárez, R., Ures, C., Pintos, J., 1992. "Circulación y Renovación del Agua en la Bahía de Montevideo", Informe de Avance - OIEA- Proyecto URU/8/007.
- Tola, F. 1982. "The use of radioactive tracers in dynamic sedimentology - Part I: Methodology; Part II: Analysis of results" - Note CEA-N-2261.
- 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.
- Bandeira, J.V., Pinto, G.G., 1997. "Estudios sedimentológicos en la Bahía de Montevideo con la aplicación de técnicas nucleares" - Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) - Informe Final de Misión Proyecto URU/8/009.

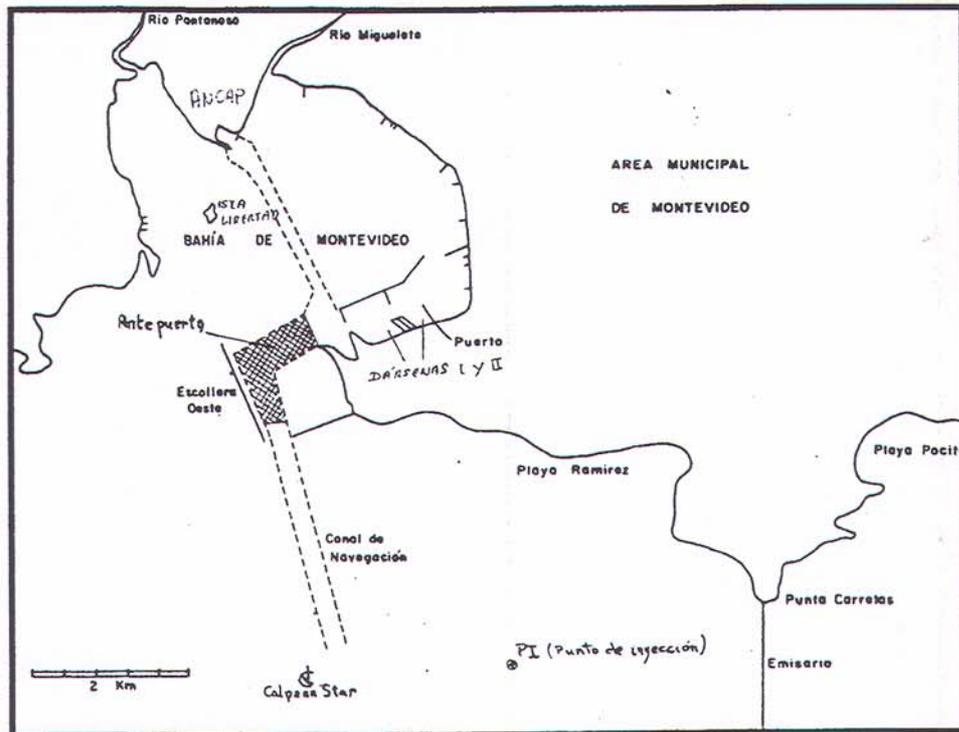


Figura 1a

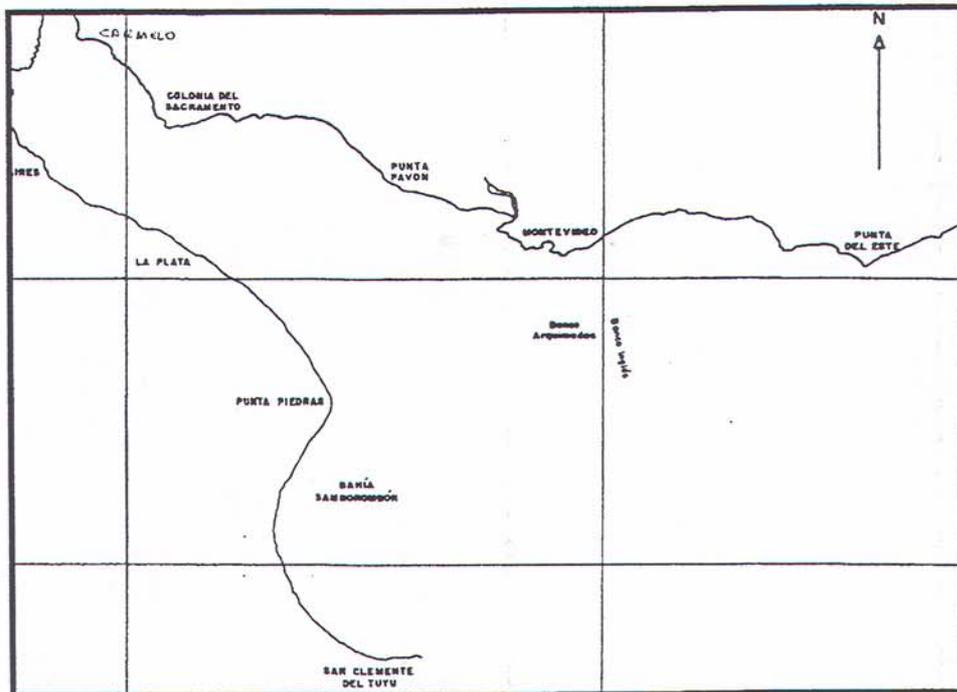


Figura 1b



Figura 2a

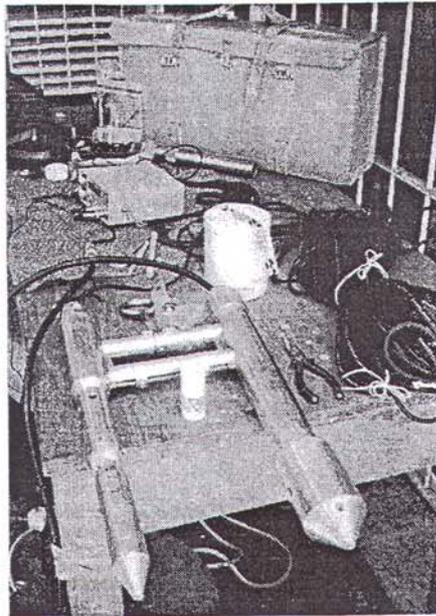


Figura 2b

Abstract - This work is related to the sedimentological studies with the application of radioactive tracers, carried out in the region of Puerto Carmelo, Río de La Plata - Uruguay, under the TC Project of the International Atomic Energy Agency (IAEA) URU/8/009, with the objective of evaluating the bed load transport of sand, in the region where a new access channel to the harbour of Carmelo, was designed. These studies, performed together hydraulic measurements, were important for the comprehension of the behaviour of the sediment transportation under the action of the hydrodynamic agents (currents and waves); the determination of the bed load rate and its application to the: evaluation of the maintenance dredging; the definition of the optimum path for the access channel, based on the deposition process of the injected tracer, 30 cm above the bottom. The maximum accretion rate for the designed channel is around 11.000 m³/year.

Palabras llave (key words) - trazador radiactivo (radioactive tracer); sedimento (sediment); dragado (dredging); azolvamiento (accretion); Río de la Plata.