

**LIBRO:** PRY. PROYECTO  
**TEMA:** PUE. PUERTOS  
**PARTE:** 1. ESTUDIOS  
**TÍTULO:** 07. Estudios de Transporte Litoral  
**CAPÍTULO:** 008. Determinación en Campo de la Tasa de Transporte Litoral mediante Trazadores Fluorescentes

**A. CONTENIDO**

Este Manual contiene los procedimientos para determinar en campo la tasa de transporte litoral mediante trazadores fluorescentes, empleando métodos de muestreo temporal o espacial, que realice la Secretaría con recursos propios o mediante un Contratista de Servicios y que se indica en la Fracción E.7. de la Norma N·PRY·PUE·1·07·001, *Ejecución de Estudios de Transporte Litoral*.

**B. OBJETIVO DE LA PRUEBA**

Esta prueba permite conocer cuantitativamente el transporte de sedimento costero, determinando la tasa o concentración de partículas de sedimento teñidas (trazador), inyectadas en un área determinada y recuperadas en puntos específicos mediante muestreadores especiales.

**C. REFERENCIAS**

Son referencias de este Manual, las publicaciones correspondientes al calendario gráfico de mareas y a la información de corrientes longitudinales del sitio de estudio.

Además, este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Ejecución de Estudios de Transporte Litoral .....	N·PRY·PUE·1·07·001
Reconocimiento de Zonas Costeras .....	M·PRY·PUE·1·07·002
Determinación de los Cambios en la Línea de Costa .....	M·PRY·PUE·1·07·007
Granulometría de Materiales Compactables para Terracerías .....	M·MMP·1·06

**D. EQUIPO Y MATERIALES**

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes. Todos los materiales por emplear serán de alta calidad, considerando siempre la fecha de su caducidad.

**D.1. TINA**

Preferentemente de plástico y con capacidad mínima de 40 litros, para el secado del sedimento y del material teñido.

**D.2. PINTURA FLUORESCENTE Y FIJADOR**

Presentación en forma líquida. El fijador puede ser cualquier material que evite que el agua marina disuelva la pintura del trazador.

**D.3. CUBETAS**

Para lavar y teñir el sedimento. También podrá utilizarse una revoladora de cemento, siempre y cuando el Contratista de Servicios garantice que no se modificarán las propiedades del sedimento.

**D.4. MUESTREADORES DE BASTÓN O PLACAS MUESTREADORAS**

Los muestreadores son tubos de policloruro de vinilo (PVC) con un cilindro de acrílico en la base y un sistema de martillo para facilitar su hincado, como el mostrado en la Figura 1 de este Manual. Las placas muestreadoras son tarjetas de cartón ilustración que se pegan a una placa metálica que a su vez está sujeta a un tubo de madera, como la mostrada en la Figura 2.

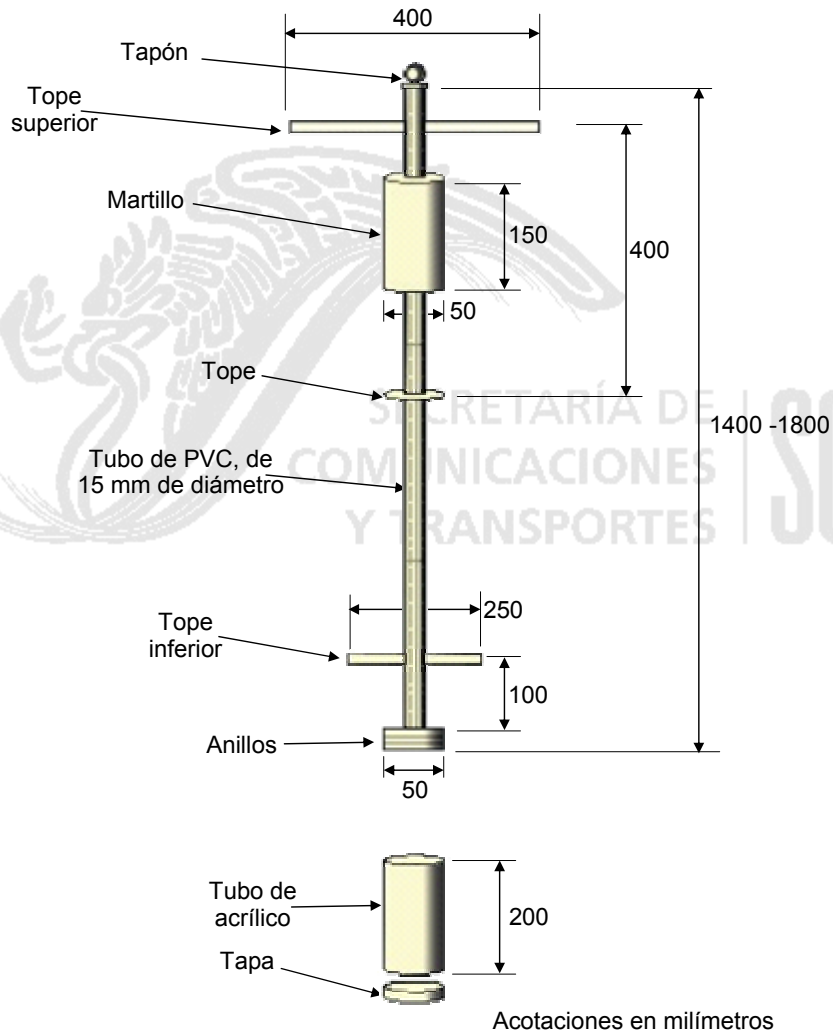


FIGURA 1.- Muestreador de bastón

**D.5. VASELINA**

De uso comercial.

**D.6. LÁMPARA DE LUZ ULTRA VIOLETA (LUZ NEGRA)**

**D.7. PLÁSTICO EN ROLLO**

**D.8. HORNO**

Eléctrico o de gas, con la capacidad suficiente para secar la muestra, ventilado, con termostato capaz de mantener una temperatura constante de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .



FIGURA 2.- Placa muestreadora

**D.9. JUEGO DE MALLAS (CRIBAS)**

Fabricadas con alambre de bronce o de acero inoxidable de diversos calibres, tejidos en forma de cuadrícula, con abertura determinada conforme a lo indicado en la Tabla 1 de este Manual, y de acuerdo con lo establecido en el Manual M·MMP·1·06, *Granulometría de Materiales Compactables para Terracerías*. El tejido estará sostenido mediante un bastidor circular metálico, de lámina de bronce o latón, de  $206 \pm 2$  mm de diámetro interior y  $68 \pm 2$  mm de altura, sujetando la malla rígida y firmemente mediante un sistema de engargolado de metales, a una distancia de 50 mm del borde superior del bastidor.

**TABLA 1.- Juegos de mallas para arena con finos**

Designación	Abertura mm
N° 10	2
N° 20	0,850
N° 40	0,425
N° 60	0,250
N° 100	0,150
N° 200	0,075

## E. PREPARACIÓN DE LOS TRAZADORES

El material que se utiliza como trazador es una muestra del sedimento local, la cual se obtiene directamente de la zona de estudio donde posteriormente se inyectará el trazador; la cantidad de la muestra será función del tiempo, del espacio de rastreo y de la intensidad de las corrientes longitudinales. Una vez recolectada, se etiquetará, fechará y anotará el frente marítimo de estudio así como su punto de recolección. Dicha muestra se cribará para que el tamaño sea lo más uniforme posible y así garantizar un comportamiento característico en todo el trazador. Es responsabilidad del Proyectista la selección del diámetro del trazador en función de las características del material local.

- E.1. El material se lavará con agua dulce y limpia, y secará en tina a temperatura ambiente. Una vez seco, se tomará 1 kg aproximadamente para someterle a un análisis granulométrico, de acuerdo con el Manual M-MMP-1-06, *Granulometría de Materiales Compactables para Terracerías*. Se eliminará el material retenido en la malla N°40 y que pase la malla N°200.
- E.2. Una vez seca la arena, se preparará la mezcla en cubetas con una proporción de 20 kg de arena por cada 800 ml de pintura fluorescente, hasta lograr una mezcla homogénea, y se extenderá sobre material plástico para su secado, el tiempo que sea necesario, efectuando un reacomodo de los granos durante el secado para evitar la formación mínima de grumos.
- E.3. De igual forma al material seco se le agregará el fijador y se mezclará, para finalmente dejarlo secar.
- E.4. El trazador recién teñido y seco se cribará de nuevo para eliminar el material inservible, es decir, aquel que una vez teñido ha engrosado lo suficiente como para ser retenido por mallas superiores a la establecida (malla N°40). El trazador fluorescente se empaquetará en bolsas de plástico o de papel estraza, con una masa de 5 a 10 kg, previo lavado con agua dulce a fin de eliminar el polvo y grasas adheridas a los granos en su manejo. La bolsa se etiquetará y se anotará el punto de inyección.
- E.5. Si el Proyectista desea realizar dos pruebas simultáneas, se harán con diferentes colores (pruebas multicolores). Para ello utilizará colores que contrasten entre sí y que se distingan fácilmente bajo iluminación ultravioleta, ya que algunos colores se ven muy diferentes ante la luz solar pero pueden verse muy similares bajo dicho tipo de iluminación. Adicionalmente se evitarán los colores blanco y azul puesto que algunas conchas y algas pequeñas se tornan en esos colores bajo luz negra.

## F. TIPO DE MUESTREO CON TRAZADORES

El muestreo se puede realizar con uno de los dos métodos que se enuncian a continuación.

### F.1. MÉTODO ESPACIAL DE MUESTREO (MEM)

En este caso se requiere dividir la zona de estudio en una retícula que inicia en la línea de inserción (línea perpendicular a la costa sobre la que se encuentran los puntos de vertido del trazador) y continúa aguas abajo hasta terminar la zona de interés. Un ejemplo de la retícula se muestra en la Figura 3 de este Manual.

Consiste en tomar muestras casi simultáneamente en los nodos de la malla. La distancia y ubicación de los puntos de muestreo se determinan según las características del sitio y requerimientos propios del estudio, principalmente la importancia que tenga el transporte de sedimento para el proyecto en su conjunto, la velocidad de las corrientes y la cantidad de personal con que se cuente, con lo que determinará la precisión requerida y a su vez la resolución de la malla.

En la Figura 3 de este Manual se ilustra un arreglo típico de muestreo espacial con trazadores fluorescentes de dos colores (prueba multicolor). Las banderas ubicadas en la playa indican líneas paralelas a la de inyección (secciones) en donde se tomarán las muestras, considerando

que las personas encargadas del muestreo, una en cada nodo para asegurar la simultaneidad, estarán unidas a las banderas por medio de sogas para garantizar la alineación. Además, el origen del sistema de referencia se basará en la poligonal de apoyo a que se refiere la Fracción G.1. de este Manual.

En la Figura 4 se ilustran las dimensiones de la malla donde se aplicará el método de trazadores fluorescentes. Su orientación y dimensionamiento se determinan por las corrientes longitudinales dominantes y los niveles del mar, definiéndose en primera instancia por la información del calendario gráfico de mareas del frente marítimo en los días en los que se llevarán a cabo las campañas de campo, y por los resultados de la inspección minuciosa del frente marítimo y la recopilación de información correspondiente, referente a las corrientes longitudinales.

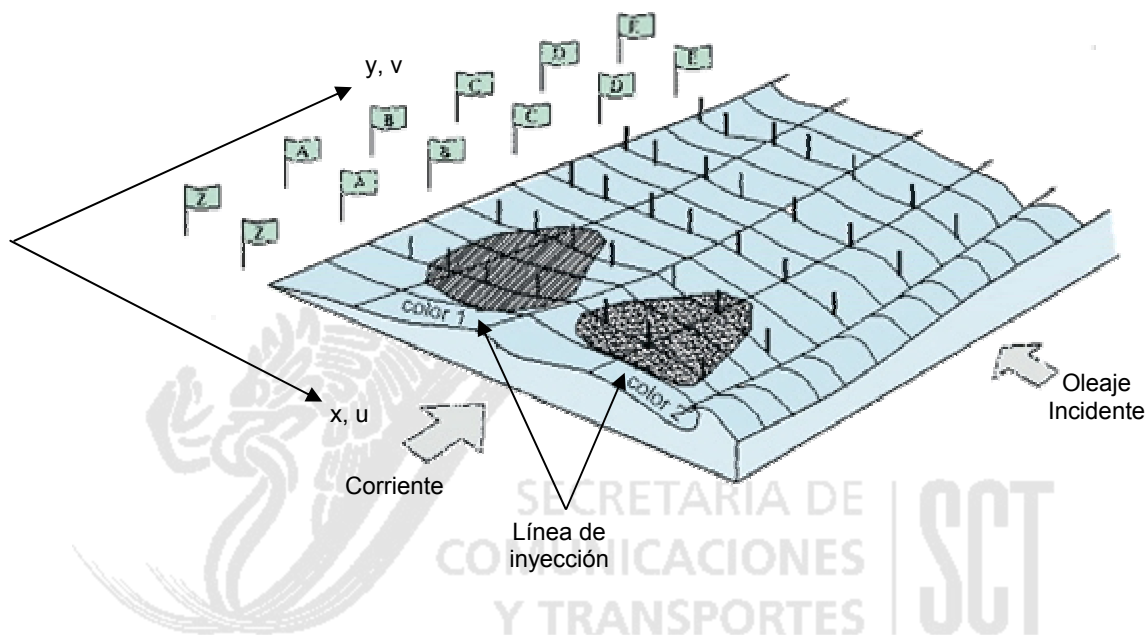


FIGURA 3.- Esquema de una campaña con trazadores fluorescentes

La dimensión total en el eje de las ordenadas varía desde el límite del estrán (lado tierra) hasta la única o última rompiente, y en el sentido de las abscisas en un rango que cae por lo general entre los 100 a 400 m siendo estos últimos ejes paralelos a la línea de costa (aproximadamente), y ortogonales a los ejes ordenados, determinándose así su orientación.

Las separaciones intermedias en las ordenadas son de 15 o 20 m, y en las abscisas los transectos están separados de 15 a 20 m en los tres primeros; subsecuentemente se incrementa la distancia en 10, 20, 30 m.

Cada una de las intersecciones de la malla estará referida a la poligonal de apoyo, llevando además una nomenclatura arbitraria dada por el investigador del estudio.

En esta misma malla se representan los puntos donde se realizarán las inyecciones y rastreos del trazador fluorescente, las mediciones de oleaje y corrientes, así como los transectos donde se efectuarán los levantamientos de perfiles playeros.

## F.2. MÉTODO TEMPORAL DE MUESTREO (MTM)

Las muestras se toman simultáneamente en una sola línea aguas abajo del sitio de inyección; la distancia entre los puntos de muestreo depende de las características propias del proyecto y de la velocidad de las corrientes.

## G. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

### G.1. REQUISITOS PREVIOS

La zona de estudio estará delimitada como se indica en el Manual M-PRY-PUE-1-07-002, *Reconocimiento de Zonas Costeras* y los puntos de muestreo e inyección de sedimento se referirán a una poligonal de apoyo, que de preferencia cuente con el mismo sistema de coordenadas que el proyecto.

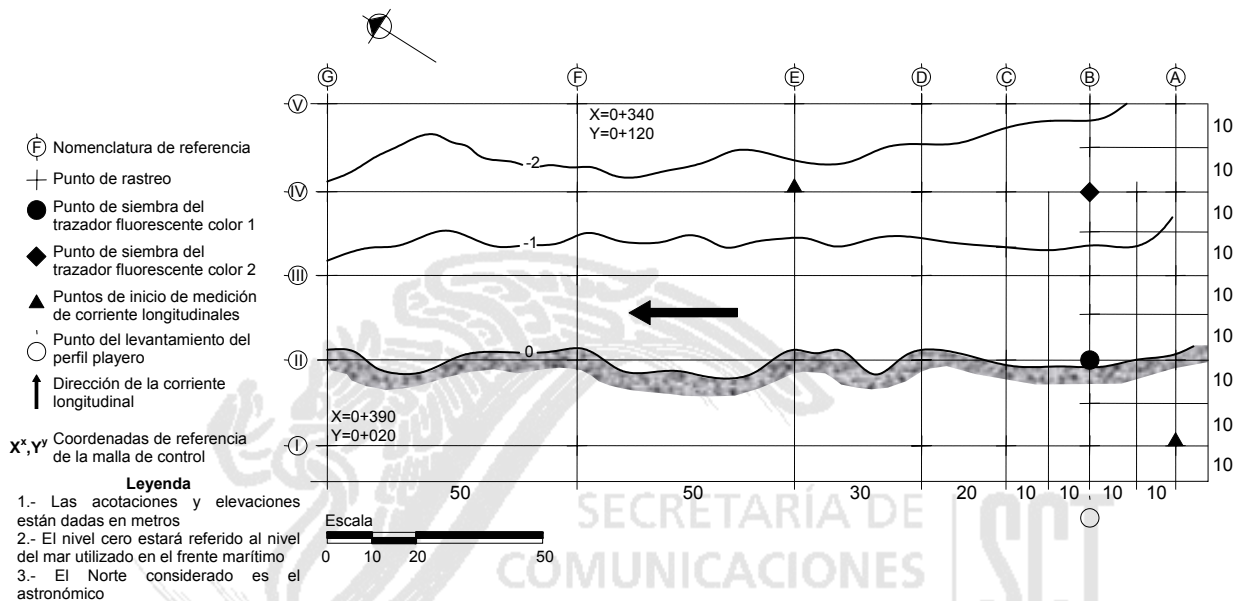


FIGURA 4.- Esquema de indicaciones de trabajo de campo

### G.2. INYECCIÓN DEL TRAZADOR

Con la finalidad de representar las condiciones naturales, uno o dos días antes de la inyección, el trazador se sumergirá en agua hasta alcanzar la saturación, después se guardará en bolsas de plástico, que tendrán una masa de 2 a 5 kg. La masa total de trazador dependerá del tamaño de la zona de interés.

El proceso de inyección consistirá en hacer cortes y colocar en el fondo marino todas las bolsas de plástico de forma que todo el trazador quede libre para ser arrastrado por la corriente.

### G.3. OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS

En el punto indicado por el método temporal de muestreo o en cada nodo de la malla para el método espacial de muestreo, las muestras se tomarán en el fondo del lecho marino mediante muestreadores de bastón o placas muestreadoras, como las ilustradas en las Figuras 1 y 2 de este Manual, considerando que:

- G.3.1.** El muestreador de bastón se hincará hasta que todo el cilindro de acrílico penetre en el lecho marino, de tal forma que la muestra quede dentro de éste; el cual, una vez fuera del agua, se separará del bastón y se tapaná para evitar la pérdida de material.

**G.3.2.** Si no se cuenta con bastones, el muestreo podrá llevarse a cabo con placas muestreadoras. En tal caso el cartón ilustración se untará con vaselina y se colocará bajo la placa, para que el sedimento se pegue al cartón cuando se asiente la placa sobre el ras del fondo, levantándola inmediatamente para finalmente llevar la muestra al laboratorio. La tarjeta se fijará a la placa con cinta adhesiva con pegamento por ambos lados.

#### **G.4. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SEDIMENTO TEÑIDO**

##### **G.4.1. Para los muestreadores de bastón**

En el laboratorio la muestra se sacará del cilindro colector y se dividirá en segmentos de 1 cm de espesor para clasificarlos por profundidades en caso de querer conocer el perfil de concentraciones. Cada segmento se secará en el horno y después se expondrá a la luz negra en un cuarto oscuro, contando los granos de trazador que se tengan en la superficie de cada segmento. La concentración se expresará en número de granos por unidad de superficie del segmento, para lo cual se dividirá el total de granos teñidos entre la superficie total del segmento.

##### **G.4.2. Para las placas muestreadoras**

En el laboratorio, las placas con la muestra se llevarán a un cuarto oscuro donde se contará el número de granos teñidos para determinar la concentración por unidad de superficie, para lo cual se dividirá el total de granos teñidos entre la superficie total de la tarjeta.

#### **G.5. CICLOS DE MUESTREO**

El primer muestreo se realizará a las 5 h de haber inyectado el material y se tomarán de 3 a 5 muestras por nodo. El muestreo se repetirá exactamente en los mismos puntos a las 12 y 24 h de la inyección y si se considera necesario se podrán hacer 2 ó 3 muestreos más en intervalos de 24 h.

#### **H. CÁLCULOS Y RESULTADOS**

Se reportará como resultado de la prueba, el promedio total de la tasa de transporte litoral en un área determinada, que se calculará, para cada ciclo de muestreo, como sigue:

$$Q = q \times X_B$$

Donde:

$Q$  = Tasa de transporte litoral, ( $m^3/s$ )

$X_B$  = Ancho de la franja de interés a lo largo de la playa, (m)

$q$  = Tasa de transporte por unidad de ancho, ( $m^2/s$ ), que se calcula como:

$$q = V_a \times b$$

$b$  = Espesor de la capa de arena en movimiento, que se puede considerar como  $0,027 H_B$ , (m)

$H_B$  = Altura de ola de rotura, calculada de acuerdo con lo indicado en el Manual M-PRY-PUE-1-07-007, *Determinación de los Cambios en la Línea de Costa*, (m)

$V_a$  = Velocidad de dispersión, (m/s), determinada con la siguiente expresión:

$$V_a = \frac{Y}{t_0}$$

$Y$  = Posición del centro de gravedad del trazador, (m), determinada como se muestra en las Fracciones H.1. y H.2. de este Manual, según corresponda.

$t_0$  = Tiempo transcurrido desde la inyección hasta el muestreo sobre la línea de inyección, (s)

Finalmente, la posición del centro de gravedad se determinará de acuerdo con el método de muestreo espacial o temporal.

### H.1. MUESTREO ESPACIAL

Como no es posible tomar muestras simultáneamente en toda la malla, se tomarán por líneas, de tal forma que la posición del centro de gravedad de la mancha de trazador,  $Y$ , (Figura 3) a lo largo de la línea de costa, sea:

$$Y = t_0 \frac{\sum_{i,j} \frac{y_j}{t_j} \cdot N_{i,j} \cdot \left( I - \frac{y_j \cdot \Delta t_j}{t_j \cdot \Delta y_j} \right) \cdot \Delta y_j}{\sum_{i,j} \left( I - \frac{y_j \Delta t_j}{t_j \Delta y_j} \right) \Delta y_j}$$

Donde:

- $Y$  = Posición del centro de gravedad del trazador, (m)
- $i, j$  = Denotan la posición del punto de muestreo dentro de la malla (Figura 3), (adimensionales)
- $N_{i,j}$  = Concentración de trazador en el punto  $(i,j)$ , obtenida como se indica en la Fracción G.4. de este Manual, (número de granos teñidos por unidad de superficie)
- $y_j$  = Distancia desde la línea de inyección hasta la línea de muestreo  $j$ , medida a lo largo de la línea de costa, (m)
- $\Delta y$  = Intervalos de espacio de muestreo entre líneas de la malla, (m)
- $t_j$  = Tiempo de muestreo de la línea  $j$  medido a partir de la inyección, (s)
- $\Delta t$  = Intervalos de tiempo de muestreo entre líneas de la malla, (s)
- $t_0$  = Tiene el significado indicado en la Cláusula H.

### H.2. MUESTREO TEMPORAL

En el caso del muestreo temporal se tiene:

$$Y = t_0 \frac{\sum_{i,n} \left( \frac{y_0}{t_n} \right)^2 \cdot N_{i,n} \cdot \Delta t_n}{\sum_{i,n} \left( \frac{y_0}{t_n} \right) N_{i,n} \cdot \Delta t_n}$$

Donde:

- $Y$  = Posición del centro de gravedad del trazador, (m)
- $i$  = Punto de muestreo, (adimensional)
- $n$  = Número de muestra, (adimensional)
- $N_{i,n}$  = Concentración en el punto  $i$  en el tiempo  $n$ , obtenida como se indica en la Fracción G.4. de este Manual, (número de granos teñidos por unidad de superficie)
- $y_0$  = Distancia, a lo largo de la línea de costa, entre el punto de inyección y el de muestreo, (m)
- $t_n$  = Tiempo de muestreo medido desde la inyección, (s)
- $\Delta t_n$  = Intervalo de tiempo de muestreo, (s)



$t_0$  = Tiene el significado indicado en la Cláusula H.

## I. PRECAUCIONES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observarán las siguientes precauciones:

- I.1. Que la determinación de las partículas del trazador se realice en un local cerrado, limpio y libre de corrientes de aire que provoquen pérdidas de dichas partículas.
- I.2. Que los muestreadores estén perfectamente armados y limpios antes de iniciar el muestreo.
- I.3. Que el manejo de las muestras se realice con especial cuidado a fin de evitar pérdidas o contaminación del material y en el caso de las tarjetas, no se permita que material ajeno se adhiera a las mismas.
- I.4. En ambos muestreadores se eliminarán del conteo los granos de trazador que se encuentren dentro de los dos primeros milímetros del perímetro exterior, con el fin de retirar material agregado artificialmente durante la prueba. Sin embargo, el área no se debe afectar en los cálculos.

## J. BIBLIOGRAFÍA

Horikawa, K., *Nearshore Dynamics and Coastal Processes*, Universidad de Tokio, Tokio, Japón (1988)

