

Sistema De Medición De Sedimentos Para Uso En La Zona De Rompientes

Vladimir Giovanni Toro Valencia

I.C. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

Grupo de Modelado Integral de Zonas Costeras, Centro Control Contaminación del Pacífico

vtoro@cccp.org.co, vgtoro@unalmed.edu.co

Luis Jesús Otero Díaz

MSc, Universidad de Cantabria (España), Oceanógrafo Físico Escuela Naval "Almirante Padilla".

Grupo de Modelado Integral de Zonas Costeras, Centro Control Contaminación del Pacífico

lotero@cccp.org.co, lotodi@yahoo.com

Gladys Bernal Franco

PhD, Universidad de Ensenada (México), Geóloga Universidad EAFIT, Medellín.

Profesora Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

gbernal@unalmed.edu.co, bernal_gladys@yahoo.com

Preparado para presentación en el
XVI Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología
Sociedad Colombiana de Ingenieros
Sociedad de Ingenieros del Quindío
Universidad del Quindío
Corporación Autónoma Regional del Quindío
Armenia 29, 30 y 31 de octubre de 2004

Resumen. La obtención de datos experimentales es uno de los elementos que mas ha ayudado a los investigadores a entender el transporte de sedimentos costeros, los cuales permiten entre otras cosas estudiar la evolución morfológica, calibración de modelos numéricos y formulaciones de ecuaciones empíricas. Un sistema de medición de sedimentos costeros debe contar con instrumentos que den cuenta de cantidades y características del sedimento pero a la vez también de características hidrodinámicas que son los que finalmente determinan el movimiento de las partículas. En el CCCP se cuenta con dos instrumentos de medición hidrodinámica (correntómetros AWAC y AANDERAA) pero no se tenía instrumentos para la medición del transporte de sedimentos lo que hacia que el sistema estuviera incompleto. Para ello se busco un instrumento económico y eficiente y se encontró que en campañas de medición Duck (1985) y SuperDuck (1986) realizadas en Carolina del Norte fueron utilizadas las trampas de sedimento para arena diseñadas por Kraus y Rosati (1989), que demostraron una alta efectividad para medir el sedimento transportado por fondo y en suspensión y que además por sus características permitían el análisis posterior del sedimento en el laboratorio. Con estos antecedentes fue modificado el diseño de Kraus y Rosati (1989) y se realizó un diseño que aparte de las ventajas de este solucionara algunos inconvenientes de dicho diseño. De esta manera se construyeron dos trampas de sedimentos, la primera un diseño modificado del original y la segunda un diseño propio del CCCP. Así el sistema quedo compuesto por dos correntómetros acústicos y por dos trampas de sedimentos. Los resultados preliminares permiten definir el valor promedio para el diámetro medio (D_{50}) del sedimento en la zona de estudio como 0.13mm y como origen del material el sur (Río Mira), debido a valores altos de tasas de transporte en ese lado de las trampas.

1. Introducción

El transporte de sedimento costero en de la zona de rompientes (nearshore) es el resultado de la forma como rompen las olas en la playa y de su combinación con patrones horizontales y verticales de las corrientes. Este transporte en esta zona es uno de los procesos mas importantes, que controlan la morfología de las playas y determinan si se produce erosión, acreción o si la playa permanece en equilibrio (Van Rijn, 1993).

El entendimiento del transporte de sedimentos desde la zona de asomeramiento (offshore) es necesario para el diseño de obras ingenieriles (Clark, 1995), pero es en la zona de rompientes donde se produce la mayor cantidad de transporte de sedimentos debido principalmente al ángulo con el que rompen las olas sobre la playa (USACE, 1992). En nuestra área de trabajo (Bahía de Tumaco) esta zona presenta una franja muy amplia debido al alto régimen mareal del Pacifico Colombiano, esto permite que se mueva durante el ascenso y descenso mareal. En la Figura 1 se aprecian las zonas antes mencionadas.

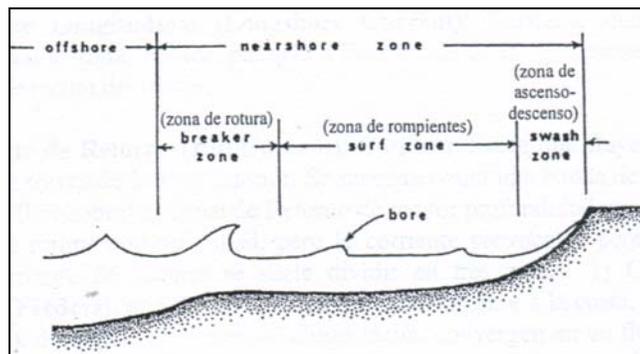


Figura 1. Zonas hidrodinámicas de un perfil costero.

En estudios de erosión costera o en el diseño de estructuras portuarias es importante saber cual es la dirección del transporte de sedimento y así evaluar las cantidades transportadas como una función del oleaje incidente .El modo como se transporta el sedimento a lo largo de la costa es llamado transporte de sedimento litoral y los volúmenes de arena involucrados en el movimiento se denominan deriva litoral (Komar, 1998).

El conocimiento del transporte de sedimento costero es de vital importancia en ambientes naturales y sobre todo en aquellos intervenidos por el hombre. En su estudio han sido utilizados diferentes herramientas que van desde formulaciones empíricas hasta el desarrollo de instrumentos por medio de los cuales se realizan estas mediciones. Las formulaciones han sido el resultado de la experiencia de los investigadores y de su capacidad de observación del fenómeno sobre obstáculos cercanos a la playa tanto naturales como antrópicos. Mientras que los instrumentos creados han tratado de darle sustento a esas observaciones hechas, creando para ello diferentes elementos entre los cuales se encuentran las trampas.

Estas trampas solo se utilizan en la zona de rompientes, su desarrollo y utilización para mediciones en esta zona no ha sido ampliamente investigada (Kraus y Rosati, 1989) por ello vale la pena retomar esta

técnica de muestreo que han utilizado con mucho éxito varios investigadores, obteniendo estimados precisos del transporte de sedimentos en un rango amplio de condiciones ambientales.

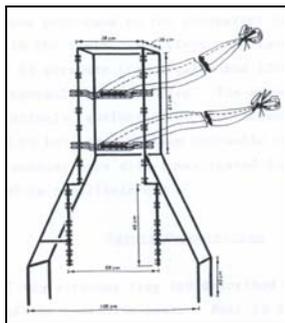
El diseño y construcción de la trampas de sedimento que se presentan a continuación tienen en cuenta las recomendaciones hechas en trabajos anteriores (CCCP, 2003) sobre la pertinencia tanto económica como técnica de construir este tipo de trampas basadas en el diseño de Kraus y Rosati (1989). Se realizaron dos diseños, el primero de ellos es un diseño modificado del diseño original y el segundo se propone debido a la versatilidad que presenta.

Antes de mostrar el diseño y utilización de dichas trampas se presenta un resumen sobre los antecedentes y diseños originales de las trampas. Las trampas de sedimentos para la zona de rompientes recibirán los nombres de Trampa 1 para el diseño modificado de Kraus y Rosati y Trampa 2 para el propuesto por el CCCP.

2. Instrumentos Utilizados En El Sistema

2.1. Trampa 1

Con base en el diseño de Helley y Smith (1971), Katori (1982) y posteriormente Kraus y Rosati en 1989, desarrollaron una trampa para la zona de rompientes (Figura 2). La mayor diferencia con respecto a la de Helley y Smith es que la malla era de tela y por lo tanto flexible, además se tenían trampas a diferentes alturas sobre la vertical de manera que se podía retener sedimento tanto de fondo como en suspensión.



(a)



(b)

Figura 2. (a) Diseño del US Army Corps . (b) Diseño utilizado por Kraus y Dean en 1987

De esta manera Kraus y Rosati construyeron una estructura sobre la que se colocaron varias trampas consistentes en bolsas de poliéster unidas a una lamina rectangular. Las bolsas tenían una longitud de 1.5m que permitían trabajar en grandes periodos y no dejaban que las bolsas se llenaran perdiendo eficiencia, además dicha longitud prevenía pérdidas de material en caso de que el flujo se invirtiera. El número de trampas en la estructura dependía del nivel del agua, el tamaño medio de la red de muestreo dependía del diámetro medio (D_{50}) del sedimento, siendo menor que este para que se pudiera capturar tamaños menores

al medio (en las campañas Duck el tamaño de la red fue de $59\mu\text{m}$). Las bolsas en el extremo eran cerradas mediante un lazo permitiendo que la arena pudiera ser retirada sin necesidad de quitar la trampa.

Las trampas del CCCP se diseñaron teniendo en cuenta las anteriores consideraciones y las siguientes recomendaciones: La boca de la trampa estará orientada hacia la zona que se desea muestrear (asomeramiento, deriva litoral) y siempre en posición horizontal, en este sentido existen problemas debido a que la fuerza de las olas pueden voltear la torre (conjunto de trampas en una misma estructura). El tiempo de muestreo varía de acuerdo a la capacidad de la bolsa y a la tasa de transporte, pero en general tienen rangos de medición entre 2 y 15 minutos; en las campañas Duck se reporta su eficiencia durante 5 minutos.

El operador debe ubicarse fuera del área de influencia de la trampa para no crear flujos que puedan alterar las mediciones. Si la trampa se llegara a inclinar deben ponerse de nuevo en posición vertical, las bolsas deben trabajar libremente, por esto los operadores deben estar pendientes ya que se pueden enrollar en la estructura. Al finalizar el periodo de muestreo las trampas son llevadas a la playa, allí se utiliza agua de mar para que el sedimento adherido a la bolsa se ubique en la parte final, luego la bolsa es abierta y el sedimento es guardado para ser analizado en el laboratorio.

Mediante este diseño se obtienen datos de distribución de sedimentos en la vertical y al ubicar varias trampas en una sección transversal a la playa se realizan mediciones de transporte transversal. El diseño de Kraus y Rosati solo permite mediciones de sedimento unidireccional, teniendo en cuenta que el movimiento del sedimento en la zona de rompientes es el resultado de varios fenómenos entre los que se encuentran el flujo oscilatorio inducido por las olas y la corriente litoral (Kraus y Rosati, 1989), los diseños propuestos (Figura 2) fueron modificados de tal manera que con una misma trampa pueda ser obtenida información del sedimento transportado desde cuatro direcciones, zona de deriva litoral (1), zona de asomeramiento (2) y sus zonas opuestas (3, 4).

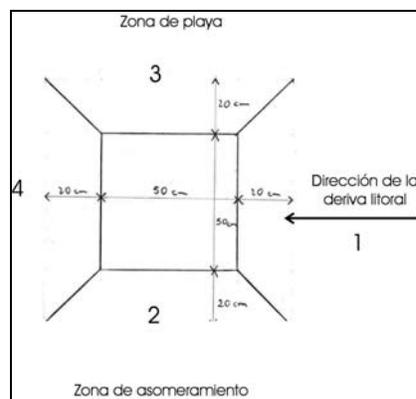


Figura 2. Vista en planta del diseño preliminar modificado de Kraus y Rosati (1989)

Este nuevo diseño contempla aparte de los transportes ya mencionados dos más desde sus direcciones opuestas como los son: Transporte desde la playa debido a corrientes generadas por el tránsito de la marea y el transporte en el sentido contrario a la deriva litoral. Hasta el momento no se tienen reportados datos de transporte de sedimento en estas direcciones, las mediciones permitirán definir la

importancia de estos transportes, en el caso que estos sean despreciables las trampas podrán ser utilizadas en las otras direcciones.

El diseño que se propone tiene un soporte de 1.50m de alto y varillas de 0.5m en sus extremos inferiores que servirán para anclar el aparato a tierra (Figura 3). La torre ha sido diseñada de tal manera que en cada lado se cuenta con tres trampas, para un total de 12 por torre. Cada una de las trampas están ubicada a una altura diferente de tal manera que ninguna pueda obstruir el trabajo de otra, además su disposición en planta permite que la bolsa trabaje libremente (Figura 3).

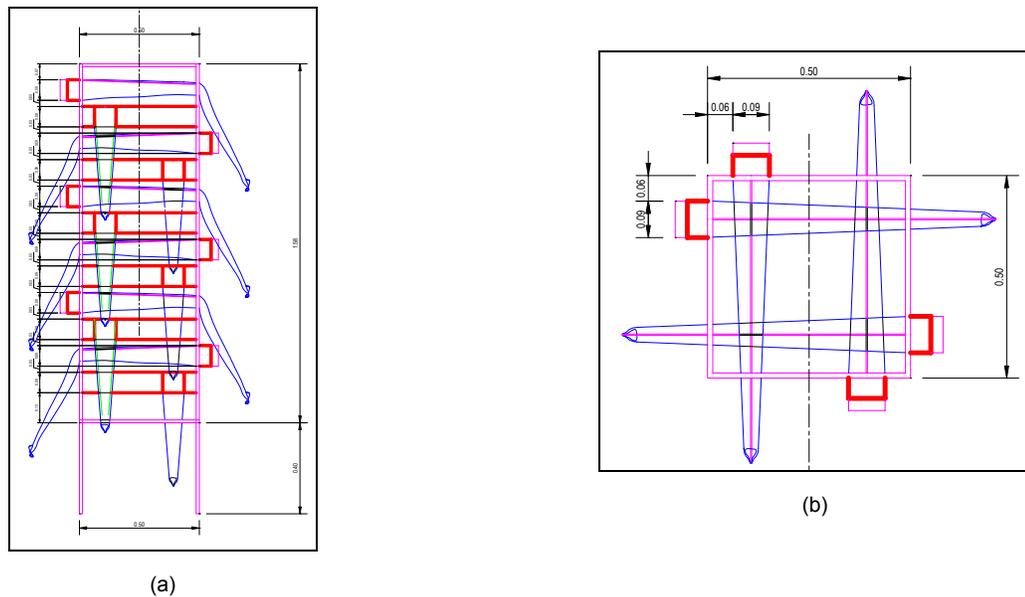


Figura 3. Trampa de sedimentos modificada de Kraus y Rosati (1989). (a) Vista lateral, (b) vista en planta

Al igual que en el modelo original la bolsa se amarra en la parte final con un lazo de tal manera que el sedimento quede atrapado y luego pueda ser retirado de la bolsa por medio de lavado y almacenado para su posterior análisis. Una diferencia significativa con las trampas del modelo original es que las bolsas en nuestro caso solo contarán con 1m de longitud, lo cual puede reducir significativamente el tiempo de muestreo de las trampas.

La Figura 4 muestran el proceso final de construcción de la trampa de Kraus y Rosati modificada. Allí se muestra una vista lateral de la trampa (a), en la parte inferior se observan las varillas con las cuales se anclara la trampa al terreno, además el operador muestra el soporte de la trampa que es ubicado en la torre (b).



(a)



(b)

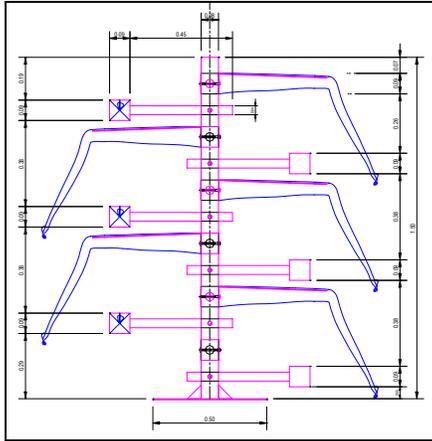
Figura 4. (a) Vista lateral de la trampa de sedimentos modificada de Kraus y Rosati (1989). (b) Puesta del soporte de la trampa en la torre.

La Figura 4. presenta detalles de la trampa de sedimentos modificada de Kraus y Rosati (1989), se observa la cantidad de trampas (tres) ubicadas a cada lado y el soporte que servirá para anclar la trampa a la torre y que sostendrá la bolsa Cabe notar que en el momento que fueron tomadas las fotografías las trampas aun no tenían las bolsas que son las que finalmente almacenarán el sedimento.

2.2. Trampa 2

El diseño de esta trampa fue realizado por el Ingeniero Civil Vladimir Toro, se realizó teniendo en cuenta algunas desventajas de la Trampa 1, la principal de ellas es que por su forma realiza una obstrucción directa a los campos de corrientes, con lo que el flujo se ve perturbado en las vecindades de la torre (Kraus y Rosati, 1989) y el transporte de sedimentos modificado, la forma de este diseño disminuye esta obstrucción sobre el flujo.

Además de la ventaja antes mencionada su funcionalidad radica en que las trampas de acuerdo al estudio que se realice o a la principal dirección del transporte pueden ser ubicadas en un mismo sentido, aumentando la cantidad de datos colectados. Este diseño tiene forma de árbol (Figura 5), en cada uno de sus extremos esta ubicada una trampa cuyas dimensiones son las mismas de la Trampa 1, estos “brazos” tienen una extensión de 0.5m. La trampa en su parte inferior tiene varillas de 0.5m de longitud lo que permite anclara al piso.



y AWAC. Estos utilizan el principio Doppler para realizar sus mediciones, es así como el sonido se propaga a través del agua y parte de esa energía es reflejada por la dispersión de las partículas en el agua. La energía de la dispersión sensada es recibida por el instrumento y analizada para encontrar algún cambio en la frecuencia. El efecto Doppler es determinado a través de un número fijo de señales emitidas y comparada con el mismo número de señales recibidas.

Asumiendo que las partículas siguen el movimiento del agua, el sistema es usado para determinar la velocidad y dirección de las corrientes en el agua. La dirección se encuentra comparando las mediciones del norte magnético hecho por medio de la brújula y de las mediciones realizadas a lo largo de ejes ortogonales.

2.3.1. Correntómetro AANDERAA (DCM12)

El DCM12 es un perfilador de corrientes que calcula el nivel del agua y la altura de la ola significativa basado en mediciones de presión hidrostática, la profundidad típica de instalación es de 3 a 50 metros y registra las corrientes en capas de 2.5 a 4m. Este instrumento tiene cuatro transducers electrónicos que transmiten y detectan pulsos eléctricos dentro del agua por medio de la lectura de dispersión de partículas en el agua y un sensor de presión. Este instrumento graba los datos a través de la Unidad de almacenamiento DSU 2990, esta tiene ensamblado un reloj de cuarzo configurado para guardar el registro de la hora. Cuando el DCM12 es usado in-situ la energía es proporcionada por medio de una batería externa que tiene un voltaje de 10.4V y una capacidad de 40Ah (AANDERAA Instruments, 2001), la Figura 7 (a) muestra este correntómetro.



(a)



(b)

Figura 7. (a) Correntómetro AANDERAA (b) Correntómetro AWAC.

2.3.2. Correntómetro AWAC

Este instrumento tiene características que lo hacen mas preciso y versátil que el anterior, por ejemplo este instrumento puede registra corrientes en celdas de 0.4 a 2.0m con un máximo de celdas por perfil de 128, registra oleaje, temperatura y nivel del agua. El máximo rango de medición es de 20 a 30m el cual depende de las condiciones locales (Figura 8, b).

Este correntómetro tiene cuatro transmisores acústicos que proveen cuatro rayos acústicos, uno en vertical y tres rayos inclinados a 25°, tiene además un sensor de presión, de nivel y de temperatura. Posee una brújula que hace posible que el AWAC trabaje como un perfilador de corrientes y cuando el instrumento trabaja en modo autónomo funciona con un paquete de baterías externas cuyo voltaje en promedio es de 12 VDC o mayor (NORTEK AS, 2004).

3. Metodología

La manera como se ubican los instrumentos (Trampas y correntómetros) en un sitio de muestreo se presenta en las Figura 8, cabe anotar la presencia en este esquema de un mareógrafo en la parte exterior del arreglo de equipos cuyas mediciones servirán para estudiar la evolución de la onda al aproximarse a la costa. Los correntómetros se ubican a una distancia tal que no creen perturbaciones en el flujo ni efectos de pantalla sobre las trampas, su disposición inicial presenta un correntómetro en la zona de rompientes de marea baja y los otros dos equipos ubicados a 50m uno del otro detrás del primero, con esta disposición será posible evaluar la evolución de la onda y de las corrientes. Las trampas se ubicarán dentro de la zona de rompientes y se moverán a lo largo del perfil de acuerdo a la marea tal manera que las mediciones siempre se realicen en dicha zona.

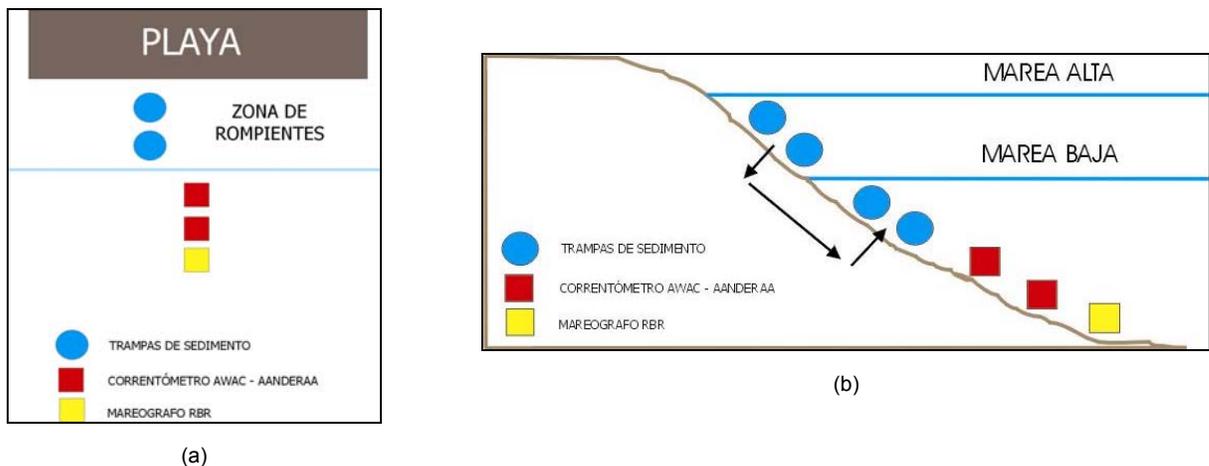


Figura 8. Arreglo de correntómetros y trampas. (a) Vista en planta. (b) Vista en perfil

Las campañas de medición se realizaron en cuatro sitios en la zona comprendida entre la desembocadura del río Mira y la Isla de Bocagrande (Figura 9), allí se definieron dos unidades costeras, la primera entre la desembocadura del río Mira y la Isla de Bocagrande y segunda desde allí hasta la Isla del Morro (zona de islas). Esta diferenciación se realiza porque la zona de islas es una zona con características hidrodinámicas bastante complejas, esto debido a la presencia de las islas mismas y a la desembocadura en ese sitio de un brazo del río Mira. Por el contrario la otra unidad presenta condiciones hidrodinámicas acordes a su conformación de playa casi recta sin influencia de ríos. Con el fin de estudiar la dinámica en un ciclo mareal completo las mediciones deben realizarse durante 24 horas

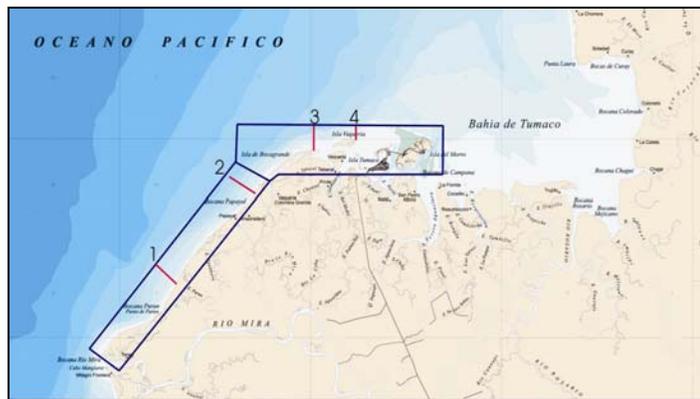


Figura 9. Unidades costeras entre la desembocadura del río Mira y la Isla del Morro. Los números (1,2,3,4) representan los estaciones donde se realizaron las mediciones

La primera estación se localizó lo más cerca posible de la desembocadura del río para que se pueda medir la cantidad efectiva de sedimento que entra al sistema por efecto de la deriva litoral pero lo suficientemente alejada de la acción directa de la pluma de sedimentos (Caserío Guinoleros). Se comenzó realizando las mediciones desde la estación que está mas al sur hacia la que queda mas al norte.

Los equipos de medición hidrodinámica, correntómetros AANDERAA, AWAC y mareógrafo RBR, en cada una de las estaciones estuvieron midiendo en promedio durante 24 horas, mientras que las mediciones de sedimentos con las trampas se realizaron con dos trampas (Trampa 1 y Trampa 2) en cuatro estados de la marea: Alta, Baja, Flujo y Reflujo.

4. Análisis Y Discusión De Resultados

Las campañas de medición se adelantaron de acuerdo a la metodología propuesta utilizando para ello las dos trampas de sedimentos (Trampa 1 y trampa 2), en las cuatro estaciones fue necesario un operador cerca de cada una debido a que el oleaje incidente inclinaba continuamente las trampas.



(a)



(b)



(c)

Figura 8. Utilización de las trampas de sedimentos en campo. (a) Diseño modificado de Kraus y Rosati (1989), (b) Diseño propuesto CCCP, (c) Trampa 1 y 2 fuera del agua.

En la Figura 8 puede verse como cada una de la torres utilizó entre 6 y 8 trampas, esto se debe a dos factores, el primero de ellos es que las trampas eran puestas de acuerdo al nivel del agua que tenía el sitio donde eran ancladas, el otro factor es el oleaje fuerte que se presenta y lo cual obligaba a colocar las trampas mas cerca de la playa donde la profundidad no es muy grande por seguridad de los operadores.

En la Tabla 1. se presentan los resultados preliminares obtenidos a partir del análisis granulométrico de las muestras tomadas en la campaña realizada en el mes de Abril del 2004, donde se determino el diámetro medio (D_{50}) y la tasa de transporte diario con base en la cantidad de sedimento colectado y el tiempo que las trampas estuvieron sumergidas (20min). Cabe anotar que este análisis parcial no incluye la totalidad de las muestras debido a que la hora de la elaboración de este informe faltaban por analizar algunas, sin embargo la cantidad por procesar era menor a las ya procesadas.

Tabla 1. Resultados preliminares del análisis de las muestras de sedimentos tomadas durante la campaña de Abril de 20004, mediante el empleo de trampas de sedimentos

ESTACION	DIRECCION	ALTA		BAJA		REFLUJO		FLUJO	
		D_{50}	(Kg/d)	D_{50}	(Kg/d)	D_{50}	(Kg/d)	D_{50}	(Kg/d)
1	2			0.13	10.20				
	4							0.11	1.72
	1							0.12	1.81
	2					0.13	9.89		
2	1	0.13	5.38						
	2	0.13	3.02						
	4	0.11	1.69						
	2			0.13	7.93				
	2					0.13	10.50		
	1							0.13	0.70
3	2	0.15	1.49						
	4			0.12	1.33				
	1					0.13	6.93		

ESTACION	DIRECCION	ALTA		BAJA		REFLUJO		FLUJO	
		D ₅₀	(Kg/d)						
4	1					0.13	2.18		
	2					0.13	17.85		
	4					0.13	2.05		

La Tabla 1 presenta una columna con el nombre dirección, esta se refiere a la dirección en la cual fue capturado el sedimento y corresponde a las direcciones definidas en la Figura 2. En esta tabla no aparecen valores en todas las direcciones para los diferentes estados de la marea, esto se debe a que las trampas no colectaron sedimento o este era insuficiente para realizar el análisis granulométrico.

Los resultados obtenidos permiten definir en promedio para toda el área de estudio un D₅₀ de 0.13mm, valor que es común tanto para las estaciones del sur como las del norte. Cabe anotar que no se tienen registros de sedimento viajando desde la dirección 3 (opuesta a la deriva litoral) lo que confirma que la deriva en este sector viaja de sur a noreste. Las tasas de transporte mas altas se presentan en las direcciones 1 y 2 lo que obedece a un transporte combinado producido por la deriva litoral y el efecto del oleaje incidente.

5. Conclusiones

Las trampas de sedimento son una técnica de muestreo utilizada con mucho éxito, mediante la cual se obtienen estimados precisos del transporte de sedimentos en un rango amplio de condiciones ambientales. Mediante los diseños construidos se obtienen datos de distribución de sedimentos en vertical y de transporte transversal y/o longitudinal.

Las trampas de sedimentos desarrolladas en el CCCP (Modificada de Krauss y Rosati) permiten la toma de muestras de sedimentos a través de un instrumento económico y de fácil manejo. Estas permiten cuantificar y caracterizar las cantidades de sedimento atrapado por medio del análisis granulométrico.

La trampa de sedimento desarrollada por el CCCP es la que menor obstrucción al flujo produce debido a su diseño en forma de "árbol", permitiendo la captura de sedimento bajo el esquema original pero con una perturbación mínima al flujo incidente.

La configuración del sistema de medición de sedimentos contempla la ubicación de las trampas en la zona de rompientes y de un instrumento en esta misma zona y otro fuera de ella con el fin de medir la influencia del oleaje y de la marea sobre el transporte de sedimentos.

Los resultados preliminares permiten definir el D₅₀ para el sector de estudio con un valor de 0.13mm, tanto para las estaciones del sur como las del norte. La deriva litoral en este sector viaja de sur a noreste debido a que no existen registros de sedimento viajando desde la dirección opuesta. Las tasas de transporte

mas altas se dan en las direcciones 1 y 2 hecho que obedece a un transporte combinado entre la deriva litoral y el oleaje incidente.

6. Bibliografía

AANDERAA Instruments, (2001). Operating Manual DCM12, Doppler Current Meter Model 12, Technical description No 190.

CENTRO CONTROL CONTAMINACIÓN DEL PACIFICO (2003).. Informe técnico sobre la evaluación y proposición de sistemas de medición de sedimentos, Modelado integral de zonas costeras. San Andrés de Tumaco, CCCP, Colombia.

CLARK, J.R. (1995). "Coastal Zone Mangement Handbook", Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 694p.

KRAUS, N.C, ROSATI, J.D. (1989). "Development of a Portable Sand Trap for use in the Nearshore". Coastal Engineering Research Center, Department of The Army, Technical Report CERC-89-11.

KOMAR, P.D. (1998). "Beach Processses and Sedimentation", Second Edition, Prentice Hall, College of Oceanic & Atmospheric Sciences, Oregon State University, Oregon, 544p.

NOTAS Y DOCUMENTOS DE LA CLASE INGENIERA DE COSTAS, Profesor Cesar Vidal, Universidad de Cantabria.

NORTEK, AS (2004). User guide, AWAC Acoustic Wave Current Meter, Doc No:N3000-126; revision C.

USACE (U.S. Army Corps of Engineers, 1992). Coastal Littoral Transport. U.S. Army Engineers, Engineer Manual No 1100-2-1502. Washington, DC.

VAN RIJN, L.C. (1993), "Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas", Delft Hydraulics, University of Utrecht, Department of Physical Geography, Holland, 1378p.