

Caracterización de la morfodinámica de la playa de Tres Piedras (Chipiona) mediante el uso de trazadores cromatóforos

G. Anfuso, F. Sánchez y J.L. Reyes

Dpto. Geología, Facultad de Ciencias del Mar. Universidad de Cádiz.
11510, Puerto Real (Cádiz), España.

ABSTRACT

Fluorescent tracers have been used in a field assessment at Tres Piedras beach (Chipiona) in order to characterise morphodynamic processes, disturbance depth and longshore transport during a single tidal cycle. Native sand was marked with a fluorescent dye without any chemical fixer. The tracers and the rods and plugs, to record the disturbance depth, were inserted in the foreshore during low tide. The sampling area was established using a fluorescent lamp. Beach accretion as well as the landward dispersion of tagged sand, confirmed the constructive work of swell waves.

Key words: littoral processes, exposed beaches, tracers.

Geogaceta, 27 (1999), 11-14

ISSN: 0213683X

Introducción

El conocimiento del transporte litoral es fundamental para el estudio de la dinámica de una área y para el dimensionamiento de estructuras artificiales (Fucella y Dolan, 1996; Komar, 1998). Para eso se han utilizado diferentes metodologías (King, 1972; Horikawa, 1988; Carter, 1991): trazadores fluorescentes y radiactivos, trampas sedimentarias y medidores de flujo.

Los trazadores fluorescentes han sido utilizados en el marco de este estudio para caracterizar el transporte litoral durante una campaña, llevada a cabo en la playa de Tres Piedras (Chipiona) el día 1 de octubre de 1997. Los trazadores cromatóforos se obtuvieron pintando arena natural de la playa a investigar, con un tinte fluorescente a la luz ultravioleta que no alteró el comportamiento hidrodinámico de los granos. La dispersión de los trazadores, al cabo de un ciclo mareal, se evaluó mediante la recogida de muestras a lo largo del interlitoral según la metodología del "Muestreo Espacial" (SIM). Durante la experiencia de campo se hicieron mediciones de altura, dirección y periodo del oleaje y se cuantificó la profundidad de removilización de la playa, es decir, el espesor de sedimento involucrado en el transporte litoral (King, 1951; Taborda *et al.* 1994; Anfuso *et al.* 1999).

Antecedentes

El deseo de cuantificar el transporte longitudinal y de relacionarlo con las características del oleaje, ha hecho que se desarrollasen varias técnicas más o menos complejas. Los primeros intentos se centraron en la cuantificación de los sedimentos retenidos arriba de estructuras artificiales como puertos, rompeolas y espigones.

La técnica probablemente más cotizada para medir la deriva litoral, consiste en marcar una cantidad de arena natural o artificial mediante un tinte fluorescente o isótopos radiactivos.

La utilización de trazadores cromatóforos se aplicó inicialmente en el estudio de la dinámica fluvial, y posteriormente fue utilizada en el medio litoral para calcular los volúmenes involucrados en el transporte litoral y las fuentes de aportes de sedimentos.

En cuanto a la técnica de coloración se puede afirmar que existen dos "escuelas". Una primera escuela (Fernandez-Rañada, 1982), prevé la utilización de una resina y de dos componentes, un disolvente y un colorante (rodamina, auramina, etc.). El sedimento natural, previamente lavado y secado, y la solución colorante, se mezclan en una hormigonera hasta el completo recubrimiento de los granos; la masa así obtenida se muele en un mortero hasta obtener la granulometría deseada.

Una segunda escuela (Taborda *et al.*,

1994; 1998; Ciavola *et al.* 1997), utiliza disolvente y colorante sin ninguna resina. El sedimento natural, lavado y secado, se mezcla con la solución colorante con la ventaja de que el producto final no es una masa sólida como en el caso anterior. Una vez secados, los trazadores se pasan por el tamiz de 2 mm, para disgregar los agregados presentes y por un tamiz fino para eliminar las partículas de tinte. Hay que destacar como los trazadores así obtenidos presentan un comportamiento hidrodinámico muy parecido al de los granos no marcados, pero una resistencia a la abrasión más baja con respecto a los marcados con colorante y resina.

El primer intento de relacionar cuantitativamente el transporte con los parámetros del oleaje fue el de Komar e Inman, (1970); estos autores desarrollaron varias experiencias de campo en ambientes micro y mesomareales de California. La dispersión de los trazadores fue evaluada mediante el SIM (Spatial Integrated Method): se recogieron al mismo tiempo varias muestras a lo largo de una malla, para luego determinar la concentración de trazadores en cada muestra y dibujar unos mapas de dispersión. La profundidad de removilización se obtuvo mediante varillas y testigos de arena marcada (King, 1972) y la toma de testigos.

Gaughan (1978), Kraus *et al.* (1982) y Kraus (1985) llevaron a cabo experiencias parecidas en playas micromareales de diferente pendiente. Estos autores

afirmaron que el efecto de la marea sobre el transporte debe ser mínimo y para eso llevaron a cabo las experiencias de campo siempre en un intervalo de tiempo inferior a las dos horas. La profundidad de mezcla fue calculada contando el número de trazadores en cada una de las rodajas en las que se dividieron los numerosos testigos de arena tomados por varios buceadores. Estos autores comprobaron como la profundidad de mezcla varió a lo largo del interlitoral en función de la posición de la rompiente.

Kraus *et al.* (1982) y Kraus, (1985) utilizaron, además del SIM, otro método de muestreo: el TIM (Time Integrated Method). Según esta técnica las muestras se recogen a lo largo de una o dos líneas aguas abajo del punto de inyección, o de un círculo alrededor del punto de siembra, a intervalos muy cortos (15 minutos) y por un tiempo de 3-5 horas máximo.

Finalmente, un tercer método, el Dilution Method (Método de dilución continua), utilizado por Russel (1960) y Duane y James (1980), consiste en verter trazadores de manera casi continua en el medio y en medir las concentraciones de éstos a una distancia definida aguas abajo del punto de inyección. Este método, que necesita una gran cantidad de trazadores, permite evaluar el transporte longitudinal sin conocer el espesor de sedimento afectado por el oleaje.

Marco geográfico

El litoral estudiado se localiza entre la desembocadura del Rfo Guadalquivir y la Bahía de Cádiz. Se trata de una costa mesomareal abierta con orientación NO-SE y constituida por playas arenosas. En concreto la playa estudiada fue la de Tres Piedras localizada entre Chipiona y Rota (Cádiz). Esta se caracteriza por poseer un perfil disipativo constituido por arena cuarcítica de tamaño fino.

Metodología

Características oceanográficas

Durante la realización de la prueba de campo se llevó a cabo un seguimiento de los parámetros de oleajes y corriente.

La altura de ola se midió repetidamente en rompiente con la ayuda de un jalón mientras que el período se determinó contando el número de olas que pasan por un punto fijo en un tiempo de dos minutos (Davis, 1977). La metodología del lapse-time (Chandramohan *et al.* 1994) fue utilizada para calcular el ángulo de aproximación del oleaje a la costa.

La corriente se evaluó repetidamente hacia tierra de la rompiente en la zona de surf, mediante un flotador que no se vio afectado por el viento.

Características sedimentarias y morfológicas

Muestras de sedimento fueron tomada en la playa estudiada y posteriormente tamizadas en seco para la obtención de los parámetros estadísticos (Folk y Ward, 1957).

La profundidad de removilización se midió con varillas y cores insertados en la playa durante la bajamar de la mañana. El levantamiento topográfico de transectos normales a la línea de costa se llevó a cabo mediante un teodolito electrónico (Zeiss Eth4).

Preparación de los trazadores

La arena utilizada para preparar los trazadores se tomó unos días antes de la prueba en la playa a investigar. El sedimento, lavado en laboratorio con agua dulce y luego dejado a secar de forma natural, fue tratado según la metodología ya descrita y utilizada por Taborda *et al.*, (1994); (1998) y Ciavola *et al.*, (1997). Se evitó pintar los sedimentos con tinte blanco o azul debido al hecho de que las conchuelas pueden dar de manera natural una luminescencia de estos colores.

Los trazadores así obtenidos se mojaron con agua de mar y se sembraron

en la playa durante la bajamar, en una franja de aproximadamente 1 m² y de 2 cm de profundidad. Su dispersión se evaluó al final del ciclo mareal durante la bajamar siguiente, por la noche, mediante una linterna de luz ultravioleta. Se cogieron muestras de sedimento de acuerdo con la distribución detectada y con la profundidad de removilización medida con los cores y las varillas. En laboratorio las muestras fueron secadas al aire libre y, en cada una de éstas, se contaron a mano los granos marcados bajo una luz ultravioleta.

Resultados

Características oceanográficas

Los valores medios del oleaje (H_{sb} : altura significativa en rompiente, H_m : altura media y T: periodo) medidos durante la campaña, se presentaron en la tabla 1.

El parámetro de escala de rompiente indicó una rotura en derrame y el índice de similaridad presentó valores típicos de playas disipativas.

Además del oleaje principal de mar de fondo descrito en la tabla 1, se observaron olas secundarias generadas tras la rotura primaria que alcanzaron una altura media de unos 20 cm y un periodo de 5 s.

También hay que destacar como la componente de la corriente fue muy variable, con valores casi nulos durante la subida de la marea y con una importante componente transversal observada en todas las mediciones del día. El dato de la tabla corresponde a la media de los valores observados, siendo la moda de los mismos igual a cero.

Morfología y Sedimentología

La playa presentó un perfil disipativo con una pendiente uniforme a lo largo del estrán cuya granulometría varió muy poco de la parte alta (0.20 mm) a la parte baja (0.18 mm).

La observación del sedimento a la lupa evidenció la abundancia de frag-

$H_{sb} - H_m$ (cm)	T (seg.)	Tipo de rompiente observada	Parámetro de escala de rompiente (1)	Índice de similaridad de surf (2)	Ángulo (°) y dirección de aprox. del oleaje	Corriente longitudinal (cm/s)	Dirección del viento e intensidad
70 - 50	10	derrams-voluta	35.18	0.29	5.5 SO	15	SE baja

(1) Guza e Inman (1975); (2) Batjes (1974).

Tabla 1. Características del clima marítimo.

Table 1. Marine climate characteristics

mentos de conchas de pequeñas dimensiones en la parte baja del estrán.

Las características generales de la playa, el valor medio del tamaño de grano y las características de la prueba de campo se presentaron en la tabla 2.

Dispersión de los trazadores

A continuación se pasa a examinar la profundidad de removilización de la playa y la distribución de los trazadores, mostrando al mismo tiempo las diferencias en el comportamiento de granos y fragmentos de conchas marcados. En cuanto a los cambios topográficos de la playa destacó un crecimiento homogéneo del estrán de 1-2 cm y una profundidad de removilización del orden del centímetro. El área afectada por el transporte litoral (Fig.1) fue de 1.71 m², siendo la anchura de la playa interlitoral de aproximadamente 100 m.

En cuanto a los trazadores, una vez alcanzados por el flujo-reflujo, sufrieron una primera y mínima dispersión en el sentido transversal de la playa. Después de unos minutos, los granos marcados se quedaron enterrados por la acción del flujo que depositó una pequeña lámina de sedimentos. La dispersión se verificó cuando la zona de siembra estaba cubierta por una lámina de 30 - 40 cm de agua y comenzaba a ser afectada por el paso de las primeras olas que rompían en derrame.

Durante la experiencia se vio como estas olas no afectaron mucho el fondo, generando a su paso, fuentes de arena ("sand fountains", Carter, 1991). Estas olas consiguieron remover el fondo y parte de los granos marcados, sin erosionar totalmente la lámina de arena que los recubría.

Durante la bajamar siguiente la observación directa mediante linterna permitió dimensionar correctamente la malla de muestreo. La dispersión de los trazadores se determinó en laboratorio y los resultados se presentaron en la fig. 2.

Los valores obtenidos permitieron afirmar que la malla de muestreo fue adecuada. Aunque parte de los granos marcados quedaron enterrados, los trazadores

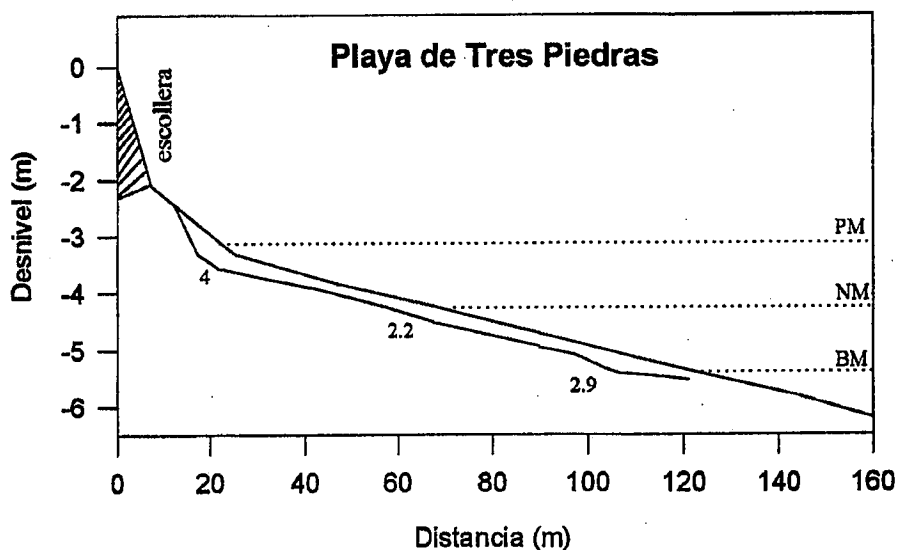


Figura 1. Perfil topográfico de la playa de Tres Piedras y profundidad de removilización en centímetros.

Figure 1. Topographic profile of the Tres Piedras Beach and disturbance depth in centimeters.

se distribuyeron según franjas concéntricas alargadas hacia tierra y desplazadas hacia el noroeste por la componente longitudinal del oleaje.

Discusión

Los datos obtenidos en la campaña llevada a cabo, permitieron comprender la interacción entre oleaje y sedimento de fondo y evaluar el área de la sección de interlitoral involucrada en el transporte litoral, aunque no permitieron cuantificarlo.

La pequeña dispersión de los trazadores y su marcada componente transversal, fue debida a la casi completa ausencia de corriente longitudinal. Estos resultados confirmaron el carácter constructivo del mar de fondo tal y como observó Corbau *et al.* (1994) en un estudio llevado cabo con trazadores fluorescentes en la costa atlántica francesa.

Se puede afirmar que la componente del transporte (longitudinal o transversal), depende de la presencia o de la ausencia de una corriente litoral sea ésta de

tipo residual (generada durante marejadas ocurridas unos días antes), relacionada con el ángulo de ataque del oleaje o con el viento.

El área de la sección del estrán involucrada en el transporte litoral fue bastante grande (pequeña removilización pero estrán ancho) y esto permite afirmar que las playas disipativas presentan una tasa de transporte elevada (de acuerdo a Kraus *et al.* 1982).

Finalmente, en cuanto a la selección de los sedimentos marcados operada por la deriva litoral, se ha visto como los fragmentos de conchas alcanzaron distancias mayores con respecto a los granos de cuarzo. Ésto se debe a la menor velocidad de caída de los granos angulosos, en este caso las conchas, que permanecen más tiempo en suspensión y llegan más lejos. Una mayor concentración de conchas se detectó en la parte baja del interlitoral de acuerdo a lo observado por Komar (1977). Este autor atribuyó este fenómeno a un proceso de transporte hacia mar ("offshore diffusion") sin aclarar las modalidades.

Anchura del intermareal (m)	Anchura de la playa seca (m)	Pendiente (tanβ)	Tamaño med. de grano (mm) (phi)	Rango de marea (m)	Bajamar (hora)	Cantid. de trazadores utilizado (Kg.)	Color del trazador utilizado
120	estrecha y transformada	0.02	0.20 2.41	2.28	8:48	20	rojo

Tabla 2. Características de la playa.

Table 2. Beach characteristics

En cuanto a la interacción oleaje-fondo, los datos obtenidos durante la campaña permitieron diferenciar tres zonas.

En la zona de somerización el sedimento se movió en el fondo según un movimiento oscilatorio de vaivén relacionado al paso de las olas y que afectó de la misma forma sedimentos de tamaño diferente (cantos y arena). En la zona de traslación, muy ancha y caracterizada por rompientes en derrame, se observó la coexistencia de un transporte en suspensión y de un transporte de fondo de tipo laminar ("horizontal shearing", Carter, 1991 o "sheet flow", Komar, 1998), es decir un transporte de fondo que no involucra solamente a granos superficiales pero una lámina de sedimentos del orden del centímetro. Finalmente, en la zona de flujo-reflujo, se produjo un transporte de fondo de tipo laminar con una fuerte componente transversal.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el proyecto CYCIT nº AMB 94-501 y por el Grupo de investigación del PAI (Plan Andaluz de Investigación) nº RNM- 161.

Referencias bibliográficas

Anfuso, G., Gracia, F.J., Andres, J., Sánchez, F., Del Rio, L. y Lopez-Aguayo, F. (1999): *J. Coastal Res.* (aceptado).
 Battjes, J.A. (1974): *Proc. 14th Int. Conf. Coastal Eng.* ASCE, 466 - 480.
 Carter, R.W.G. (1991): *Academic Press.* 617 pp.
 Chandramohan, P., Nayak, B. and Anand, N. (1994): *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.* ASCE, 120: 318 - 324.
 Ciavola, P., Taborda, R., Ferreira, O. and Dias, J.A. (1997): *Marine Geology*, 141: 147 - 156.
 Corbau, C., Howa, H., Tessier, B., Resseguier, A. and Chamley, H. (1994): *Acad. Sci. Paris, Série II:* 1503-1509.
 Davis, R.A. Jr. (1977): Addison- Wesley, 505 pp.

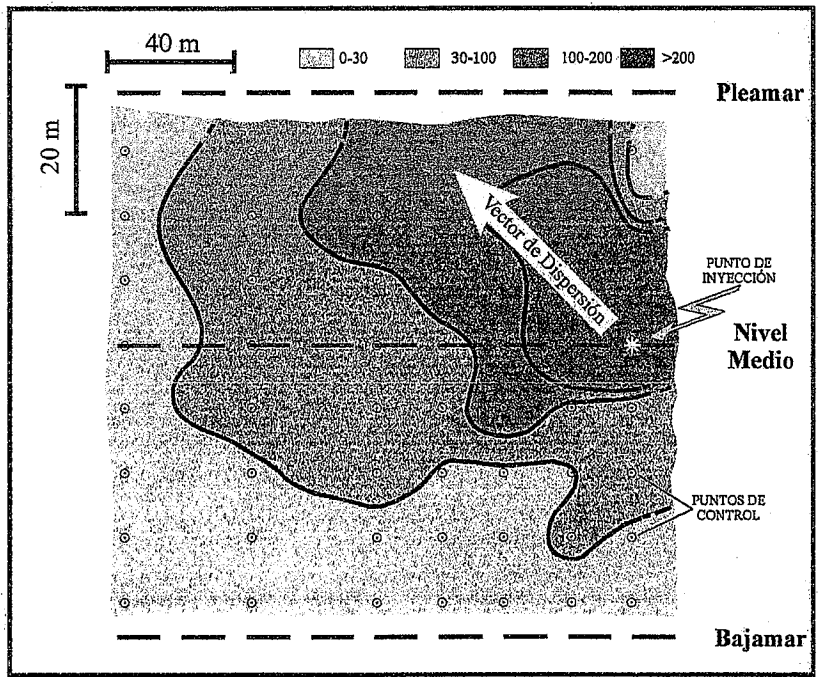


Figura 2.- Distribución de la concentración de granos marcados (nº granos/100 gr muestra).

Figure 2. Distribution of sand tracers (number of marked grains/100 gr of sample).

Duane D.B. and James, W.R. (1980): *J. Sedim. Petrol.*, 50 (3): 929 - 942.
 Fernandez-Rañada, J.C. (1982): *Cuadernos de Investigación*, C 4: 35 pp.
 Folk, R.L. and Ward, W.C. (1957): *J. Sedim. Petrol.*, 27: 3 - 26.
 Fucella, J.E. and Dolan, R.E. (1996): *J. Coastal Res.*, 12: 420 - 429.
 Gaughan, M.K. (1978): *Proc. 16th Int. Coastal Eng. Conf.*, ASCE, 1513 - 1530.
 Guza, R.T. and Inman, D.L. (1975): *Jour. Geoph. Reserch.* 80 (21): 2997 - 3012.
 Horikawa, K. (1988): *Univ. Tokyo Press.* 522 pp.
 King, C.A.M. (1951): *J. Sedim. Petrol.*, 21 (3): 131 - 140.
 King, C.A.M. (1972): Edward Arnold. 570 pp.
 Komar, P.D. and Inman, D.L. (1970): *J. Geophys. Res.*, 75: 5514 - 5527.
 Komar, P.D. (1977): *J. Sedim. Petrol.*, 47: 1444 - 1453.
 Komar, P.D. (1998): Prentice-Hall. 544 pp.
 Kraus, N.C., Isobe, I., Igarashi, H., Sasaki, T.O. and Horikawa, K. (1982): *Proc. 18th Int. Coastal Eng. Conf.*, ASCE, 969- 988.
 Kraus, N.C. (1985): *J. Sedim. Petrol.*, 55: 3 - 14.
 Russel, R.C.H. (1960): *Proc. 7th Int. Coastal Eng. Conf.*, ASCE, 419 - 444.
 Taborda, R., Ferreira, O., Dias, J.A. and Moita, P. (1994): *Littoral'94*, 26 -29.
 Taborda, R., Ciavola, P., Ferreira, O. & Dias, J.A. (1998): *2º Simposium Internacional sobre el Margen Ibérico Atlántico.* Instituto Español de Oceanografía. (En prensa).