

**TRANSPORTE LITORAL EN UNA ZONA DE LA BAHIA DE
TODOS SANTOS, B.C., MEXICO DURANTE ABRIL,
AGOSTO Y OCTUBRE DE 1985**

**LONGSHORE SAND TRANSPORT IN A ZONE OF BAHIA DE
TODOS SANTOS, B.C., MEXICO DURING APRIL,
AUGUST AND OCTOBER OF 1985**

Carlos R. Torres N.

Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Apartado Postal 453
Ensenada, Baja California, México

Ciencias Marinas (1991), Vol. 17, No. 3, pp. 59-71.

RESUMEN

Con datos de oleaje registrado mediante un arreglo de dos sensores de presión durante abril, agosto y octubre de 1985 en la barra del estero de la Punta Banda, B.C., se calcula el transporte neto de sedimento paralelo a la playa. Los resultados revelan una zona de estudio expuesta a marejadas del sur durante abril y agosto, y a marejadas del norte junto con olas locales en octubre. Los valores obtenidos de transporte son de 384 y 10.56 m³ d⁻¹ en dirección a la boca del estero durante abril y agosto respectivamente, y de 110.4 m³ d⁻¹ hacia Punta Banda en octubre.

ABSTRACT

According to wave data recorded by a two pressure sensors array during the months of April, August and October of 1985 at the spit of the estero de Punta Banda, B.C., the net longshore sediment transport was calculated. Results show an study area that has been exposed to the swells from the south in April and August, and to swells from the north with local waves in October. The transport values obtained are 384 and 10.56 m³ d⁻¹ towards the estero mouth in April and August respectively, and a value of 110.4 m³ d⁻¹ to Punta Banda in October.

INTRODUCCION

El oleaje es el factor más importante que determina el transporte de sedimento a lo largo de las costas. Resultados teóricos y experimentos de campo, han permitido establecer que se pueden obtener estimaciones razonables del transporte si se conoce la energía y dirección de aproximación de las olas en la zona de rompiente (Carmel *et al.*, 1985); es por esto, que la información de oleaje es una herramienta esencial en el cálculo del transporte en playas.

INTRODUCTION

Waves are the most important fact that determine the longshore sediment transport. The theoretical results and the field experiments let establish reasonable approaches of the transport if the energy and the direction of the waves in the surf zone are well known (Carmel *et al.*, 1985); therefore, waves information is an essential tool for longshore transport calculations.

At Bahia de Todos Santos, and specially at the estero de Punta Banda bar (EPBB)

En la bahía de Todos Santos, B.C., y en particular en la barra del estero de Punta Banda (BEPB) se asientan algunos de los principales desarrollos turísticos de la región, motivo por el cual se han efectuado diversos estudios encaminados a conocer la cantidad y dirección del sedimento que se mueve a lo largo de sus playas. Sin embargo, la mayoría de ellos (Baca-Chacón, 1981; Méndez-Arriaga, 1982; Aranda-Manteca, 1983; Pérez-Higuera y Chee-Barragán, 1984; Jiménez, 1988) sólo estiman la dirección; mientras que las evaluaciones (O'Brien y Zeevaert, 1968; Consultores S.A., 1977; González-Ramírez, 1980; CIEPS, Consultores, 1988) no son del todo confiables ya que se apoyan en información de oleaje de estaciones lejanas (Tabla 1).

Con el propósito de investigar la relación entre la energía del oleaje y su efecto en la costa, se han efectuado varias campañas de mediciones intensivas en la BEPB, en las que se han monitoreado corrientes costeras, oleaje, vientos, y variaciones del perfil de playa. La información de oleaje correspondiente a los meses de abril, agosto y octubre de 1985 se utiliza en este estudio para evaluar la tasa y dirección del transporte de sedimento en esta zona.

AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza al SE de la bahía de Todos Santos, B.C., entre los 31°42' y 31°46' N y entre los 116°36' y 116°40' O, sobre una barra de arena de 8 km de largo por 1 km de ancho, que se extiende en dirección NNE. La playa se encuentra limitada al Norte por la boca del estero y al sur por cabo Punta Banda, (Fig. 1); la pendiente es suave, constituida predominantemente por arenas de cuarzo bien clasificadas con un diámetro medio de 2ϕ (Blanco-Betancourt, 1987). La zona está expuesta a la acción del oleaje de mar abierto a través de dos ventanas: una de 30° hacia el oeste, entre Punta San Miguel y las Islas de Todos Santos, y la otra de 10° en la parte sur entre las Islas de Todos Santos y el Cabo Punta Banda.

Las mediciones direccionales de oleaje se hicieron utilizando un arreglo de dos sensores de presión (Sea Data modelo 635-08) instalados a una profundidad media de 5 m y separados 20 m uno del otro. Dichos instru-

some of the main touristic resorts have been settled in the region, hence several studies have been done in the area to establish the amount and direction of the sediment that is moving longshore. However, most of them (Baca-Chacón, 1981; Méndez-Arriaga, 1982; Aranda-Manteca, 1983; Pérez-Higuera and Chee-Barragán, 1984; Jiménez, 1988) just approached the direction, whilst the evaluations (O'Brien and Zeevaert, 1968; Consultores, S.A., 1977; González-Ramírez, 1980; CIEPS, Consultores, 1988) are not confident because these are supported on waves information that belongs to far located stations (Table 1).

With the purpose of establishing the relation between the wave energy and their effect on the coast, there have been several campaigns of intensive measurements at the EPBB, in which the coastal currents, waves, winds, and shore profile variations have been monitored. Information of waves corresponding to April, August and October, 1985, has been used in this study mainly to evaluate the rate and direction of the sediment transport in this zone.

STUDY AREA

The study area is located to the SE of Bahía de Todos Santos, B.C., between 31°42' and 31°46' N and 116°36' and 116°40' W, over a sandy bar of 8 km long and 1 km wide, that is extended to NNE direction. The beach is limited to the north by the estero mouth and to the south by Cabo Punta Banda, (Fig. 1); the slope is soft, mainly constituted by well sorted quartz sands of 2ϕ diameter in average (Blanco-Betancourt, 1987). The zone is exposed to open sea waves action throughout two windows: one 30° to the west, between Punta San Miguel and the Islas de Todos Santos, and the second at 10° to the south of the Islas de Todos Santos and Cabo Punta Banda.

Wave directional measurements were carried out using an array of two pressure sensors (Sea Data 635-08) that were installed at 5 m mean depth and were separated 20 m from each other. 2048 data every hour were recorded by the instruments that were programmed, with a sampling rate of 0.5 s. Torres *et al.* (1980) and Larios *et al.* (1990)

mentos quedaron programados de tal forma que grabaron 2048 datos cada hora con una razón de muestreo de 0.5 s. Torres *et al.* (1988) y Larios *et al.* (1990) presentan una descripción detallada sobre la obtención de esta información.

Estimación del transporte de sedimento

La tasa de transporte de sedimento paralelo a la costa (Q) se calculó de acuerdo al método de flujo de energía (SPM, 1984), el cual supone que Q depende de la energía de las olas y su ángulo de aproximación en la rompiente, como sigue:

$$Q = \frac{K}{(\rho_s - \rho)g a'} P_{ls} \quad (1)$$

donde K es un coeficiente adimensional igual a 0.77 (Komar, 1976), $\rho_s = 2650 \text{ kg m}^{-3}$ y $\rho = 1025 \text{ kg m}^{-3}$ son la densidad del sedimento transportado y del agua respectivamente, $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ es la aceleración debida a la gravedad, y $a' = 0.6$ es un factor que toma en cuenta la porosidad de la arena. P_{ls} es la componente del flujo de energía de las olas a lo largo de la playa y está dada por:

$$P_{ls} = \frac{1}{2} (EC \text{ sen } 2\theta)_b \quad (2)$$

donde E es la energía de las olas, C su velocidad de fase, y θ es el ángulo con el que llegan a la costa; el subíndice b indica que estos valores se evalúan en la línea de rompiente.

Ya que el movimiento de sedimento dado por (1) es paralelo a la costa, entonces hay dos posibles direcciones de transporte: en relación a un observador parado en la playa y mirando hacia el mar, estas son, hacia la derecha (dando Q positivos) o hacia la izquierda (dando Q negativos). El transporte neto, Q_n , es la diferencia de las cantidades de arena transportadas a la derecha y a la izquierda que pasan por un punto de la línea

offer a detailed description about this information.

Estimation of the sediment transport

The rate of longshore sand transport (Q) was determined according to the energy flux method (SPM, 1984) in which Q depends of the wave energy and the approximation angle to the surf zone, as follows:

where K is an adimensional coefficient that equals to 0.77 (Komar, 1976), $\rho_s = 2650 \text{ kg m}^{-3}$ and $\rho = 1025 \text{ kg m}^{-3}$ are the transported sediment and water densities respectively, $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ is the acceleration due to gravity, and $a' = 0.6$ is a sand porosity factor. P_{ls} is the longshore component of the wave energy flux and is given by:

where E is the wave energy, C is the phase velocity, and θ is the angle to which these waves arrive to the coast; the subindex b indicates the evaluation of these values at the breaker line.

Because the longshore sediment movement is given by (1), then there are two possible transport directions in relation to an observer located at the coast and looking to the open sea: (positive Q) to the right, and (negative Q) to the left. The net transport, Q_n , is the difference between the amounts of transported sand to the right and left that pass through a point of the coastline at a given time period (SPM, 1984).

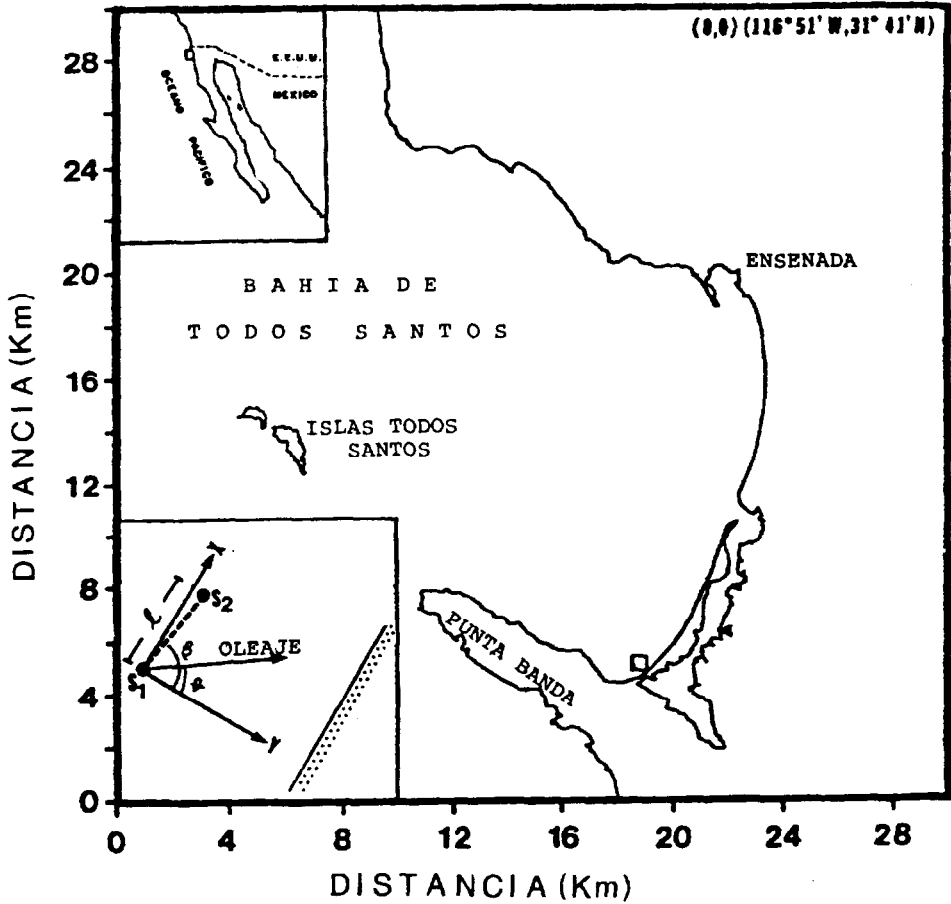


Figura 1.- Zona de estudio y disposición de los instrumentos de medición.
 Figure 1.- Study area location and disposition of the measurement instruments.

de costa en un período de tiempo dado (SPM, 1984).

METODOLOGIA

La estimación de P_w involucra el cálculo de la energía y la dirección de las olas, así como su evaluación en la línea de rompiente. Estos pasos se detallan a continuación:

Espetros de Energía

Los espectros de frecuencia y espectros cruzados se estimaron a partir de la transformada de Fourier de las series de presión, y se

METHODOLOGY

The estimation of P_w involves the energy and waves direction calculation, as well as its evaluation at the breaker line. These steps are detailed as follows:

Energy Spectra

The frequency and cross spectra were estimated from the fast Fourier transform of the pressure series, these were averaged to give 16 degrees of freedom with a band wide of 0.0078 Hz. The Fourier coefficients, $a(n)$ and

promediaron para dar 16 grados de libertad con un ancho de banda de 0.0078 Hz. Cada coeficiente de Fourier, $a(n)$ y $b(n)$, se compensó por atenuación debido a la profundidad, utilizando teoría lineal. Para evitar amplificación de la energía en las bandas de frecuencias altas se seleccionó una frecuencia de corte, $f_c = 0.25 H_s$. La energía asociada a cada frecuencia, $E(n)$, se obtuvo como:

$$E(n) = 2\rho g \{ a^2(n) + b^2(n) \} \quad (3)$$

Dirección de las olas

La dirección asociada a cada banda de frecuencia, $\theta(n)$, se obtuvo mediante la expresión propuesta por Todd y Dean (1982):

$$\theta(n) = \beta \pm \cos^{-1} \left(\frac{1}{k(n)l} \tan^{-1} \frac{Q_{12}(n)}{C_{12}(n)} \right) \quad (4)$$

donde β es el ángulo que forma una línea imaginaria que une los sensores con el eje X; k es el número de onda; θ es la separación entre instrumentos (ver recuadro en Fig. 1), y Q_{12} y C_{12} son el espectro de cuadratura y coespectro respectivamente entre las series de los sensores 1 y 2.

Evaluación en la línea de rompiente

La evaluación de $E(n)$ y $\theta(n)$ en la rompiente, se hizo utilizando el algoritmo, para el cálculo de P_{1s} , propuesto por Todd y Dean (1982); éste usa teoría lineal y toma en cuenta los efectos de refracción y los cambios de profundidad, para obtener los valores de energía y dirección de las olas en la línea de rompiente.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

El comportamiento de la energía del oleaje durante las mediciones puede seguirse en los espectros cualitativos de la Figura 2 (no se presentan todos los espectros), donde se observa la presencia de olas de la tormenta durante abril, la disminución energética de éstas en agosto, y olas de la tormenta (de más energía) junto con olas locales en octubre.

$b(n)$, were compensated by attenuation due to depth, using linear theory. To avoid the energy amplification in the high frequency bands, a frequency cut off was selected, $f_c = 0.25 H_s$. The associated energy for every frequency, $E(n)$, was calculated by:

Wave direction

The associated direction to each frequency band, $\theta(n)$, was obtained by means of the expression proposed by Todd and Dean (1982):

where β is the angle between an imaginary line that unites the sensors to X axis; k is the wave number; θ is the instruments separation (see frame in Fig. 1), and Q_{12} and C_{12} are the quadrature spectrum and the coespectrum, respectively, between the sensor series 1 and 2.

Evaluation at the breaker line

The $E(n)$ and $\theta(n)$ evaluation at the breaking zone, was made using an algorithm for P_{1s} calculation, proposed by Todd and Dean (1982); linear theory and the refraction effects as well as shoaling were also used for obtaining the wave energy and direction at the breaker line.

RESULTS AND DISCUSSIONS

The waves energy behaviour throughout the measuring time could be followed in the qualitative spectra of Figure 2 (all spectra are not included), where the presence of storm waves during April, the energetic decreasing of these in August, and the storm waves (those of higher energy) with local waves in October can be observed. Torres *et al.* (1988) and Larios *et al.* (1990) show a more detailed description of this information.

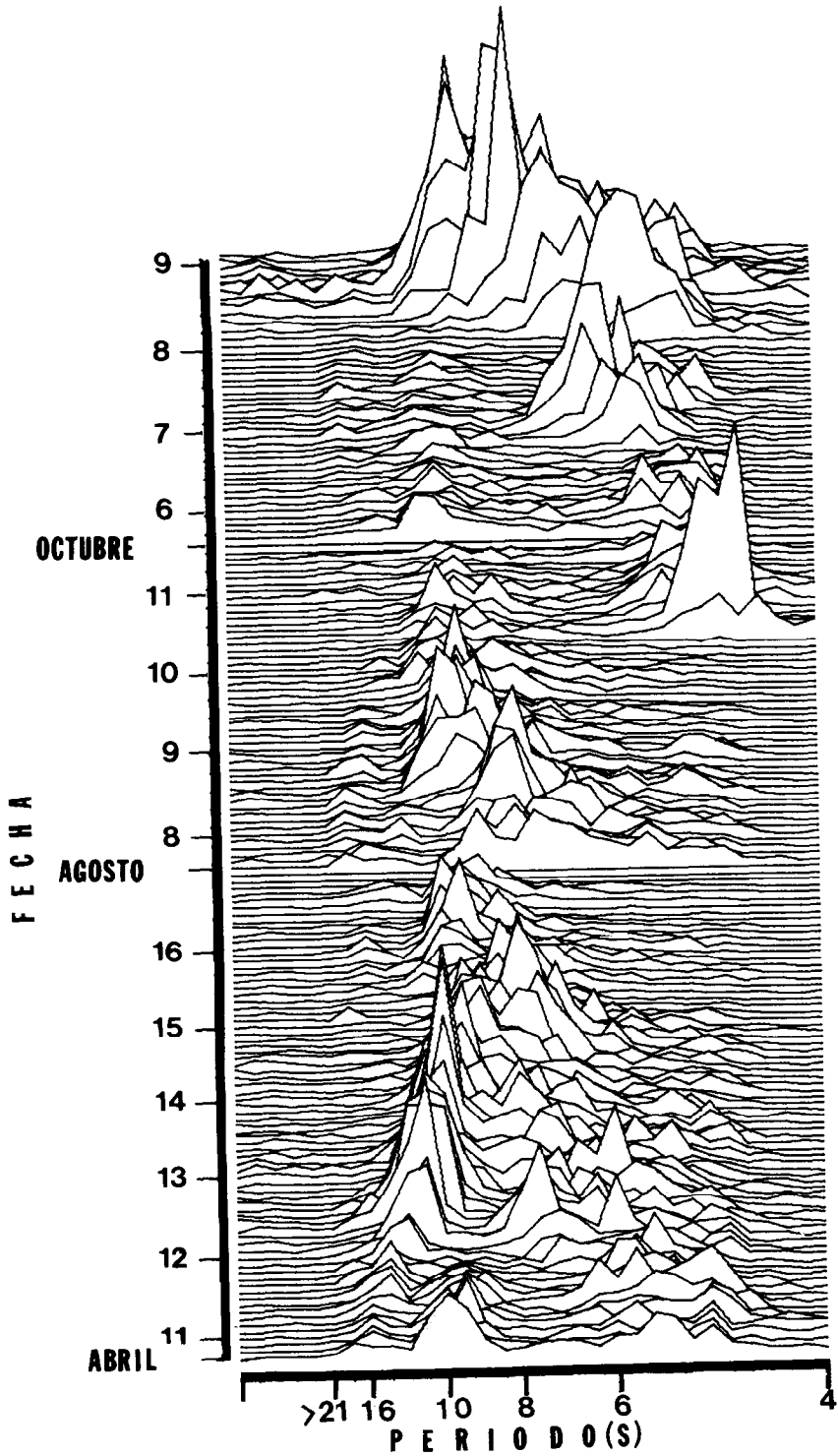


Figura 2.- Comportamiento de la energía del oleaje durante el período de mediciones.
Figure 2.- Wave energy behaviour throughout the measurements period.

Torres *et al.* (1988) y Larios *et al.* (1990) presentan una descripción más detallada de esta información.

En la Figura 3 se muestra la distribución conjunta de períodos y direcciones para todas las mediciones. Puede observarse que durante abril (Fig. 3a) y agosto (Fig. 3b) se presentan dos direcciones predominantes de arribo (315-320° y 290-295°), mientras que en octubre (Fig. 3c) predomina una nueva dirección que es de 320-325°. Como se verá más adelante, el efecto de esta variación en los valores de Q_n , es significativo.

Las mediciones de abril se caracterizan por presentar olas de tormenta de períodos entre 8 y 12 s (Fig. 2), las cuales son refractadas por la batimetría local dando dos direcciones predominantes de arribo a la estación de registro 290-295° y 315-320° (Fig. 3a). Estas olas, de altura de rompiente igual a 60 cm en promedio, provocan un transporte litoral neto hacia el norte (boca del estero) de 384 m³ d⁻¹. Es probable que este oleaje provenga del hemisferio sur. Munk *et al.* (1963), Emery (1960) y Komar (1976) han observado este tipo de oleaje, de dirección 180-230° en aguas profundas (Inman *et al.* 1989), en los meses de abril a septiembre, el cual provoca corrientes paralelas a la costa del sur de California en dirección norte.

Durante agosto, se observa un comportamiento similar al de abril, es decir, direcciones de arribo entre 290-315° (Fig. 3b) y alturas de rompiente de 56 cm. Es probable que los valores bajos de Q_n (10.56 m³ d⁻¹) obtenidos para estas fechas, se deban a la disminución energética de las olas de tormenta y al desarrollo de olas de período corto (6-8 s) (Fig. 2), estas últimas provocadas por vientos locales (3.19 m s⁻¹ en promedio) de dirección noroeste y suroeste (Gil, 1987). Las olas de período corto pueden crear fuertes corrientes litorales (Silvester, 1979) y, combinadas con olas de la tormenta, pueden tener un efecto significativo en los perfiles de playa, y aun en el balance de sedimento (Torres, 1986). Wiegel y Todd (1952) mencionan la importancia de este tipo de oleaje en la destrucción de estructuras costeras.

Durante octubre se presentan olas de período corto (6-8 s) y olas de la tormenta (de períodos entre 8-12 s) (Fig. 2), las primeras producidas por vientos locales del oeste y

The period and direction distributions for all the measurements carried out are shown in Figure 3. During April (Fig. 3a) and August (Fig. 3b) it can be observed that two dominant arrival directions are shown (315-320° and 290-295° true), whilst for October (Fig. 3c) there is a new dominant direction (320-325°). The effect of these values will affect Q_n as will be seen later.

The storm wave period values between 8 and 12 s (Fig. 2) characterize April measurements, these waves are refracted by the local bathymetry giving two predominant arrival directions to the recording station 290-295° and 315-320° (Fig. 3a). The breaking height of these waves is 60 cm average, and these produce a net litoral transport to the north (estero mouth) of 384 m³ d⁻¹. Probably these waves are coming from the southern hemisphere. Munk *et al.* (1963), Emery (1960) and Komar (1976) have observed this kind of waves in deep sea waters with 180-230° direction, and (Inman *et al.* 1989) from April to September, which produces longshore currents from southern California to the north.

During August a similar behaviour to April is shown, in terms of the arrival directions of 290-315° (Fig. 3b) and breaking heights of 56 cm. The lowest Q_n values (10.56 m³ d⁻¹) obtained could be due to the energetic decreasing of the storm waves and to the development of short period waves (6-8 s) (Fig. 2), the last are produced by local winds (3.19 m s⁻¹ in average) to northwest and southwest direction (Gil, 1987). Short period waves can produce strong litoral currents (Silvester, 1979) and these combined could produce storm waves that can have a significant effect on shore profiles, and also in sediment balance (Torres, 1986). Wiegel and Todd (1952) mentioned the great importance of this kind of waves in the damage of coastal structures.

Short period waves for October (6-8 s) and the storm waves with periods between 8-12 s are shown (Fig. 2); the former are produced by local winds from the west and southwest with averaged velocities of 3.09 m s⁻¹, the latter are generated by North Pacific storms (Munk *et al.*, 1963; Inman *et al.*, 1989). The last arrive throughout the window located between Islas de Todos Santos and Punta San Miguel, then arrive to the measuring site with

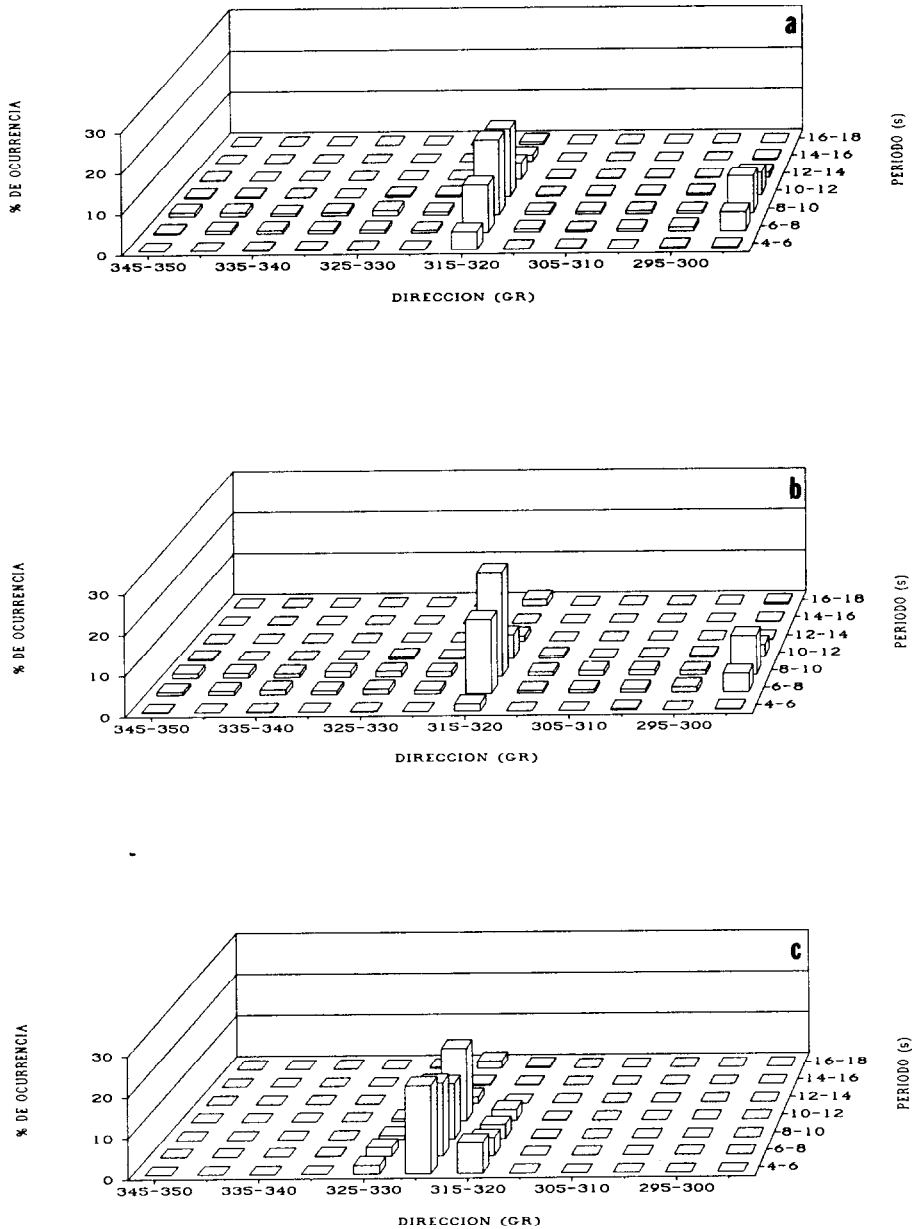


Figura 3.- Distribución conjunta de direcciones de arribo y períodos pico en la Barra del Estero durante a) abril, b) agosto, y c) octubre de 1985.

Figure 3.- Joint distribution of arrival directions and peak periods at the spit of the Estero during a) April, b) August, and c) October of 1985.

suroeste con velocidades medias de 3.09 m s^{-1} , y las segundas generadas por tormentas del Pacífico Norte (Munk *et al.*, 1963; Inman *et al.*, 1989). Estas últimas arriban a través de la ventana que se localiza entre las Islas de Todos Santos y Punta San Miguel, para llegar al sitio de medición con direcciones entre $320\text{-}325^\circ$ (Fig. 3c). La combinación de estos trenes de oleaje produce alturas de rompiente iguales a 69 cm en promedio y provoca un transporte de $-110.4 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, o sea, en dirección S (base de la barra). Un comportamiento similar se ha observado en las costas de California por Judge, (1970) y Komar (1976) quienes mencionan que olas del oeste y noroeste (con períodos entre 10-13 s) provocan generalmente una deriva litoral hacia el sur.

En la Figura 4 se resumen las ideas anteriores; en abril se tiene un transporte grande en dirección norte (boca del estero), en agosto disminuye hasta hacerse casi cero, y en octubre se invierte. Estos cambios están ligados a variaciones estacionales en la energía de las olas y su lugar de generación. Durante abril y agosto (en que se encontraron direcciones de arribo de $290\text{-}315^\circ$) las olas de la tormenta provienen del hemisferio sur y entran principalmente entre Punta Banda y Las Islas de Todos Santos; mientras que en octubre (con direcciones de arribo de $320\text{-}325^\circ$) llegan de Alaska y otras áreas del Hemisferio Norte arribando principalmente a través de la ventana existente entre San Miguel y las Islas de Todos Santos. Pérez-Higuera y Chee-Barragán (1984) mencionan que el oleaje del noroeste al llegar a la costa provoca una circulación en dirección sur, y que oleaje de tormenta proveniente del hemisferio sur, genera una corriente en sentido contrario. Dolan *et al.* (1987) indican que el paso de marejada del sur a la marejada del norte ocurre entre finales de primavera y principios de verano.

Los resultados indican un transporte neto hacia la boca del estero (norte), lo cual implicaría una migración de ésta en la misma dirección. Sin embargo, hay que considerar que las mediciones no cubrieron todo el ciclo estacional, y el hecho de que la boca continúe sin variaciones morfológicas considerables (CIEPS, 1988) fortalece el argumento de que de alguna manera, estas cantidades se balancean. Este balance se alcanzaría si durante los meses de invierno el transporte fuera hacia

$320\text{-}325^\circ$ direction (Fig. 3c). The combination of these wave trains produces breaking heights of 69 cm in average and also produce a transport of $-110.4 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, this to S direction (bar base). A similar behaviour has been observed at California coasts by Judge (1970) and Komar (1976) who mentioned that western and northeastern waves (with 10-13 s periods) produce a litoral drift to the south (Figure 4).

A great transport to north direction (mouth of the estero) is shown for April, in August there is a decreasing approaching zero, and in October this is inverted (Figure 4). These changes are all related to seasonal variations of the wave energy and their generating sites. In April and August (when the arrival directions found were $290\text{-}315^\circ$) the storm waves from the southern hemisphere arrive mainly between Punta Banda and the Islas de Todos Santos; whilst in October (with arrival directions of $320\text{-}325^\circ$) these waves arrive from Alaska and other places from the northern hemisphere throughout a window located between San Miguel and the Islas de Todos Santos. When these northwestern waves arrive to the coast produce a circulation to the South, and generate a current in the opposite direction (Pérez-Higuera and Chee-Barragán, 1984). Dolan *et al.* (1987) indicates that the change between the southern to the northern swells occurs between the end of spring and the early summer.

Results indicate a net transport to the estero mouth (North), which will implicate a migration of this to the same direction. However, there must be considered the measurements that do not covered the whole seasonal cycle, and the fact that if the mouth stays without any considerable morphological variation (CIEPS, 1988) will support in some way the argument that these amounts are balanced. This balance could be reached if during the winter the transport could be directed to the EPBB, which is reasonable according to what Inman *et al.* (1989) mentioned that is in this season when the storm waves from the northern hemisphere predominate, and Martínez-Díaz de León *et al.* (1989) and Martínez-Díaz de León (1990) found that the maxima height values also occur around this time.

According to the direction of the obtained transport and the data reported by

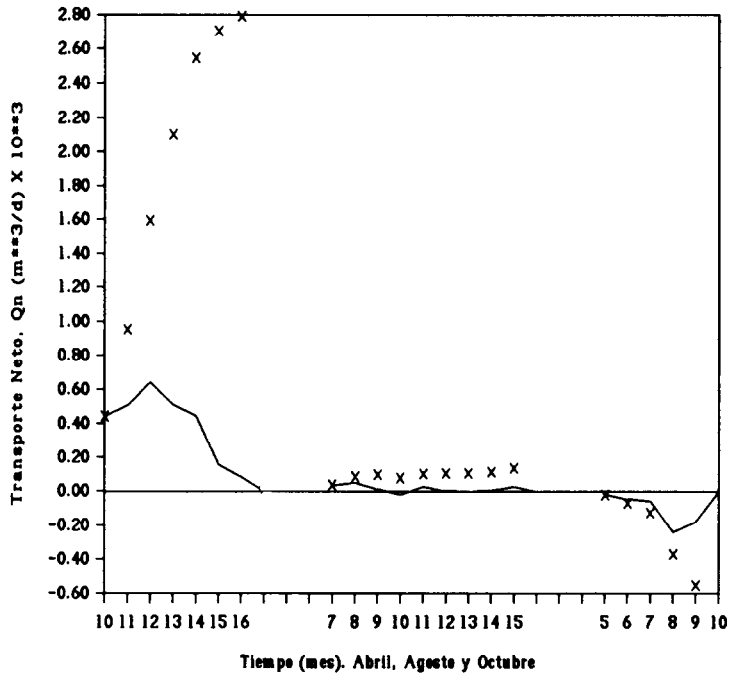


Figura 4.- Promedios diarios (línea continua) y acumulativo (X) de transporte de sedimento durante los experimentos de abril, agosto y octubre de 1985 en la Barra del Estero.
Figure 4.- Daily averages (continuous line) and accumulative (X) of sand transport during the experiments of April, August and October of 1985 at the Estero spit.

la base de la BEPB, lo cual es razonable ya que Inman *et al.* (1989) mencionan que en esta época predominan las olas de la tormenta del hemisferio norte, y Martínez-Díaz de León *et al.* (1989) y Martínez-Díaz de León (1990) encuentran que las máximas alturas significantes ocurren también alrededor de estas fechas.

Si bien, el acuerdo en el sentido del transporte obtenido y el reportado por otros autores es bueno, una comparación entre los valores de Q_n con los ya citados (Tabla 1) no es del todo válida ya que de éstos, algunos se estimaron con estadísticas de oleaje de estaciones lejanas (O'Brien y Zeevaert, 1968; Consultores S. A., 1977; CIEPS, Consultores, 1988), las cuales no se sabe que tan confiables sean, y otros, como los reportados por González-Calvillo (1980), González-Ramírez (1985), y Jiménez (1988), aunque son de carácter local, se estimaron con pocos datos como para dar una idea amplia de la variabilidad del transporte.

other authors, a comparison between the Q_n values with the already cited ones (Table 1) is not completely feasible because these were estimated with waves statistics from very far stations (O'Brien and Zeevaert, 1968; Consultores, S.A., 1977; CIEPS, Consultores, 1988) and it is not known how feasible are these, and some other reported by González-Calvillo (1980), González-Ramírez (1985), and Jiménez (1988) were estimated with few data and also are not feasible to give a good approach of the transport variability.

The transport equation used (eq. 1) works as a black box; wave energy is known and all of this is supposed to be used for moving the sediments, however, there are some other expressions, as the one proposed by Kraus *et al.* (1982) and Kamphuis *et al.* (1986) which include the beach characteristics, like the grain size and the slope. The obtained results of these must be compared with sand volume measurements of the studied area. Seymour and Higgins (1978) indicate that a

La expresión utilizada para el cálculo del transporte (ec. 1) funciona como caja negra, se conoce la energía del oleaje incidente y se supone que toda ésta se utiliza en mover el sedimento. Sin embargo, existen otras expresiones, como las propuestas por Kraus *et al.* (1982) y Kamphuis *et al.* (1986), que toman en cuenta características de la playa tales como el tamaño de grano; y la pendiente. De una manera u otra, los resultados obtenidos con cualquiera de estas deben cotejarse con mediciones de volúmenes de arena de la zona bajo estudio. Seymour y Higgins, (1978) indican que una estimación precisa de Q_n es extremadamente difícil, ya que si el transporte paralelo a la costa es bidireccional, el Q_n será la diferencia entre dos números grandes. Por tanto, el error en la estimación del transporte puede ser un orden de magnitud mayor que el transporte neto, y aún, puede ser posible que la dirección predicha de éste sea incorrecta.

El transporte obtenido es el transporte potencial, o sea, el máximo posible para un cierto campo de oleaje (SPM, 1984). Sin embargo, en la realidad pueden existir condiciones que eviten que estas tasas de transporte se alcancen; por ejemplo, sustratos rocosos y cantos sobre la playa (Dolan *et al.* 1987). Además, como lo mencionan Pérez-Higuera y Chee-Barragán (1984), las tasas de erosión en cualquier tiempo son función de las condiciones climáticas y varían estacionalmente y sobre períodos de años. Los efectos acumulativos debidos a mareas, vientos y olas juegan también un papel importante en la determinación de las tasas de erosión para cualquier estación.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Educación Pública (SEP) por el apoyo financiero otorgado bajo convenios C88-01-0079 y C90-01-0380. A los compañeros de la Sección de Oceanografía Física del Instituto de Investigaciones Oceanológicas por su participación en las campañas de medición. A Oscar Delgado y Asdrúbal Martínez por sus críticas y sugerencias y Aimee Tanahara por su colaboración en el trabajo gráfico.

good approach of Q_n is extremely difficult, because if the longshore sand transport is bidirectional, hence Q_n will be the difference between two high numbers. Therefore, the error in transport approach could be of higher magnitude than the net transport, and also, it is possible that the predicted direction of this could be wrong.

The potential transport obtained is the maximum possible transport for certain wave field (SPM, 1984). However, in reality there might be conditions to avoid that these transport rates could be reached; for example, rocky substrates and pebbles over the beach (Dolan, *et al.*, 1987). Also, as Pérez-Higuera and Chee-Barragán (1984) mentioned, the erosion rates are function of the climatic conditions at any time, these vary seasonally and over periods of years. The cumulative effects due to tides, winds and waves play an important role in terms of the erosion rates for any season.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to the Secretaría de Educación Pública for the financial support by means of the C88-01-0079 and C90-01-0380 contracts. To my colleagues at the physical oceanography section of the Instituto de Investigaciones Oceanológicas for their help during the field work. To Oscar Delgado and Asdrúbal Martínez for their criticisms and suggestions and to Aimee Tanahara for her collaboration on the graphic work.

English translation by Ana Luz Quintanilla M.

LITERATURA CITADA

- Aranda Manteca, F. (1983). Estudio de los minerales pesados como trazadores de corriente en la bahía de Todos Santos, B.C. Tesis Profesional, UABC, Fac. de Ciencias Marinas, pp. 1-78.
- Baca Chacón, C. (1981). Procedencia de los minerales pesados en la bahía de Todos Santos, B.C. Tesis Profesional, UABC, Fac. de Ciencias Marinas, pp. 1-40.
- Blanco Betancourt, R. (1987). Comparación de dos modelos de predicción de la corriente a lo largo de la playa, con

- datos reales obtenidos en la barra del estero de Punta Banda, B.C. Tesis Profesional, UABC, Fac. de Ciencias Marinas, pp. 1-36.
- Carmel, Z., Inman, D. L. y Golik, A. (1985). Directional wave measurement at Haifa, Israel, and sediment transport along the Nile Littoral Cell. *Coastal Eng.*, 9: 21-36.
- CIEPS, Consultores (1988). Estudios físicos en Punta Banda, B.C. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Obras Marítimas, pp. 1-95.
- Consultores, S.A. (1977). Estudio de factibilidad del Puerto Turístico de Punta Banda, B.C. Dirección General de Obras Marítimas, pp. 21-50.
- Dolan, T.J., Castens, P.M., Sonu, Ch. J. and Egense, A.K. (1987). Review of sediment budget methodology: Oceanside Littoral Cell, California. *Coastal Sediments '87*, pp. 1289-1304.
- Emery, K.O. (1960). *The Sea off Southern California*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 366 pp.
- Gil Silva, E. (1987). Transporte de arena por acción del viento en una playa natural. Tesis Profesional, UABC, Fac. de Ciencias Marinas., 45 pp.
- González Calvillo, A. (1980). Estabilidad y habilidad natural de autodragado del la boca del estero de Punta Banda, B.C. Tesis Profesional, UABC, Fac. de Ciencias Marinas, 36 pp.
- González Ramírez J. (1985). Transporte litoral en la barra del estero de Punta Banda, B.C. Curso de Titulación, UABC, Fac. de Ciencias Marinas, 32 pp.
- Inman, D. and Horrer, P.L. (1983). Wave Hindcast and Littoral Drift Calculation for Ensenada Yard. Informe para Boss Pacific, S. A. de C. V. 30 pp.
- Inman, D., Pawka, S.S. and Shaw, M.J. (1989). "The NSTS Field Experiment Sites", Chapter 1, In: *Nearshore Sediment Transport*, R. J. Seymour, ed., Plenum Press, 1989, pp. 7-13.
- Jiménez P.M. (1988). Determinación del transporte litoral por medio de trazadores fluorescentes en la parte externa de la barra del estero de Punta Banda, B.C. Tesis Profesional, UABC, Fac. de Ciencias Marinas, pp. 1-47.
- Judge, C.W. (1970). Heavy minerals in beach and stream sediments as indicators of shore processes between Monterey and Los Angeles, California. *Tech. Mem. No. 33*. Coastal Engineering Research Center, 44 pp.
- Kamphuis, J.W., Davies, M.H., Nairn, R.B. and Sayao, O.J. (1986). Calculations of littoral sand transport rate, *Coastal Engineering*, 10: 1-21.
- Komar, P.D. (1976). *Beach processes and sedimentation*. Prentice-Hall Inc., 425 pp.
- Kraus, N.C., Isobe, M., Igarashi, H., Sasaki, T.O. and Horikawa, K. (1982). Field experiments on longshore sand transport in the surf zone, *Proc. 18th Coastal Engineering Conf., ASCE*, pp. 969-988.
- Larios, S. C. R. Torres, L. F. Navarro, E. Gil S. y R. Blanco B. (1990). Dinámica de la zona de rompiente. Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC. Reporte Técnico No. 90-01, 70 pp.
- Martínez Díaz de León, A., C. Nava B., F. J. Ocampo. (1989). Estadística del oleaje en la bahía de Todos Santos, B.C., de Septiembre de 1986 a Agosto de 1987. *Ciencias Marinas*, 15(3). 1-20.
- Martínez Díaz de León, A. (1990). Análisis estadístico de información de oleaje medida dentro de la bahía de Todos Santos, B.C., México. Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC. Reporte Técnico No. 90-01., 50 pp.
- Méndez Arriaga, M. (1982). Determinación del transporte litoral predominante en la bahía de Todos Santos, B.C. Tesis Profesional, UABC, Fac. de Ciencias Marinas, 30 pp.
- Munk, W., G. R. Miller, F. E. Snodgrass, y N. F. Barber (1963). Directional recording of swell from distant storms. *Proc. Roy. Soc. A.*, 255: 505-584.
- O'Brien, M.P. and Zeevaert, L. (1968). Design of a small tidal inlet. *Am. Soc. Civil Eng., Proc. Coastal Eng. Conf., Vol. II*, pp. 1242-1257.
- Pérez Higuera, R. y Chee Barragán, A. (1984). Transporte de sedimentos en la bahía de Todos Santos, B.C. *Ciencias Marinas* 10(3); 31-52.
- Seymour, R.J. and Higgins, A.L. (1978). Continuous estimation of longshore sand

- transport. *Coastal Zone* '78, 3: 2308-2318.
- Silvester (1979). *Costal Engineering*, 1. Elsevier Scientific Publishing Co. 300 pp.
- SPM, U. S. Army Coastal Engineering Research Center (1984). *Shore Protection Manual*. Department of the Army Corps of Engineers, 1: 4-96.
- Todd, L. W. and Dean, R.G. (1982). Computer algorithm to calculate longshore energy flux and wave direction from a two pressure sensor array. TP. 82-2. U.S. Army, Corps of Engineers. Coastal Engineering Research Center, pp. 1-32.
- Torres, N. C. (1986). *Comparación y análisis de registros de oleaje obtenidos en una localidad al sur de La bahía de Todos Santos, B.C.* Tesis Profesional, UABC. Fac. de Ciencias Marinas, 73 pp.
- Torres N. C., Larios, S., y Navarro, L.F. (1988). *Dinámica de la zona de rompiente*. Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC. Reporte Técnico No. 88-01, 70 pp.
- Wiegel, R. L. and Todd, D.K. (1952). Near-coastal storms and associated waves. *Trans. Am. Geophys. Un.* 33(2): 217-225.