

## **EROSIÓN Y APOORTE SEDIMENTARIO DE LOS CANTILES MARINOS DE LA BAHÍA DE TODOS SANTOS, BAJA CALIFORNIA, EN EL PERIODO DE 1970 A 1991**

### **EROSION AND SEDIMENT SUPPLY OF SEA CLIFFS OF TODOS SANTOS BAY, BAJA CALIFORNIA, FROM 1970 TO 1991**

María Esther Cruz-Colín  
Luis Antonio Cupul-Magaña

Facultad de Ciencias Marinas  
Universidad Autónoma de Baja California  
Apartado postal 453  
Ensenada, Baja California, México

*Recibido en junio de 1996; aceptado en abril de 1997*

#### **RESUMEN**

A partir del análisis de fotografías aéreas obtenidas por INEGI en octubre de 1970, octubre de 1985, julio de 1989 y septiembre de 1991, se calculan las tasas de retroceso y el volumen de sedimento aportado al sistema litoral por cuatro sectores de cantiles identificados en la Bahía de Todos Santos: San Miguel, El Sauzal, Punta Morro/El Vigía y Punta Banda. Los resultados indican que los cuatro sectores se encuentran en un proceso erosivo, con tasas de retroceso de 0.93, 0.97, 0.70 y 0.89 m/año y con un aporte de sedimentos de 14,097.71, 13,996.16, 3,919.14 y 16,194.43 m<sup>3</sup>/año, respectivamente, siendo un contribuyente importante para mantener el balance sedimentario de la zona costera de la Bahía de Todos Santos.

*Palabras clave:* cantiles, tasas de erosión, balance sedimentario, Bahía de Todos Santos.

#### **ABSTRACT**

Aerial photographs from INEGI for October 1970, October 1985, July 1989 and September 1991 were analyzed to calculate the cliff retreat rate and sediment volume supplied to the coastal system in four coastal sectors of Todos Santos Bay: San Miguel, El Sauzal, Punta Morro/El Vigía and Punta Banda. Results indicate that all four sectors are under erosion, with cliff retreat rates of 0.93, 0.97, 0.70 and 0.89 m/yr, and sediment volumes of 14,097.71, 13,996.16, 3,919.14 and 16,194.43 m<sup>3</sup>/yr, respectively. The cliffs are important for maintaining the sediment budget of the coastal zone in Todos Santos Bay.

*Key words:* sea cliffs, erosion rates, sediment budget, Todos Santos Bay.

#### **INTRODUCCIÓN**

La mayoría de los desarrollos turísticos, industriales y urbanos de la costa noroccidental de Baja California se encuentran ubicados sobre cantiles marinos, los cuales tienen la susceptibilidad de ser erosionados por la acción del oleaje en sus bases y por agentes subaéreos en

#### **INTRODUCTION**

Most of the tourist, industrial and urban developments of the northwest coast of Baja California are located on sea cliffs that are susceptible to erosion by wave action at the base and by subaerial agents at the crest. Todos Santos Bay is no exception. Its geomorphology is

sus crestas. La Bahía de Todos Santos no es la excepción. Su geomorfología está dominada por cantiles que varían en tamaño y composición litológica, la cual puede verse reflejada en las características de las playas, que están constituidas por materiales que van desde arenas finas a cantos rodados y bloques, producto de la erosión de los cantiles. De esta manera, los cantiles de la Bahía de Todos Santos pueden considerarse como fuentes principales de material sedimentario al sistema litoral. Muchos de los habitantes en las zonas de cantiles han sido sorprendidos por la rápida erosión de los mismos: una erosión no prevista de un cantil puede ocasionar resultados dramáticos que se traducen en pérdidas económicas y, en algunos casos, pudiendo llegar hasta la pérdida de vidas humanas. Por esta razón, es muy importante conocer la evolución de los cantiles marinos, sobre todo en áreas que se encuentran desarrolladas o que presentan un potencial de desarrollo, como es el caso de la Bahía de Todos Santos.

Existen pocos estudios de la razón de retroceso de los cantiles de la Bahía de Todos Santos. Ramos-Olvera (1993) clasifica los cantiles de El Sauzal de Rodríguez como cantiles activos, los cuales presentan un continuo retroceso. Renaul-Ballester y García-Gutiérrez (1994) obtienen algunas razones de retroceso, siendo clasificadas como baja (de 0.0 a 1.0 m/año) para Punta Papagayo, La Joya y Punta Banda; media (1.0 a 1.5 m/año) para la zona norte de la bahía y la barra del Estero de Punta Banda; y alta (mayor de 1.5 m/año) para El Sauzal, El Vigía, Playa Hermosa y El Faro, entre otras.

El conocimiento de las razones de erosión en intervalos de tiempo largos, nos permite establecer más claramente los cambios en la línea de costa, ya que la tasa de erosión de los cantiles no es uniforme a lo largo de un periodo determinado, sino que pueden ocurrir episodios erosivos intensos y episodios de poco cambio en la evolución de los cantiles marinos.

Otro aspecto importante por conocer es la cantidad de material sedimentario que es aportado por los cantiles al sistema litoral, ya que ésta ayuda a mantener el balance sedimentario de la zona costera, mismo que se ve reflejado en la formación o erosión de las playas (Komar, 1976).

dominated by cliffs that vary in size and lithologic composition; this is reflected in the types of beaches, which consist of material varying from fine sands to boulders and blocks as a result of cliff erosion. The cliffs of Todos Santos Bay are considered principal suppliers of sediment to the littoral system. Many inhabitants of the cliff zones are surprised by the rapid erosion of the cliffs; an unexpected erosion of a cliff can have serious consequences, resulting in economic losses and, in some cases, fatalities. For this reason, it is very important to know the evolution of sea cliffs, especially in developed areas or areas that have development potential, as is the case of Todos Santos Bay.

There are few studies on cliff retreat rates for Todos Santos Bay. Ramos-Olvera (1993) classified the cliffs of El Sauzal de Rodríguez as active cliffs that present continuous retreat. Renaul-Ballester and García-Gutiérrez (1994) reported retreat rates with the following classification: low (from 0.0 to 1.0 m/yr) for Punta Papagayo, La Joya and Punta Banda; medium (1.0 to 1.5 m/yr) for the northern region of the bay and the sand bar of Estero de Punta Banda; and high (greater than 1.5 m/yr) for El Sauzal, El Vigía, Playa Hermosa and El Faro, among others.

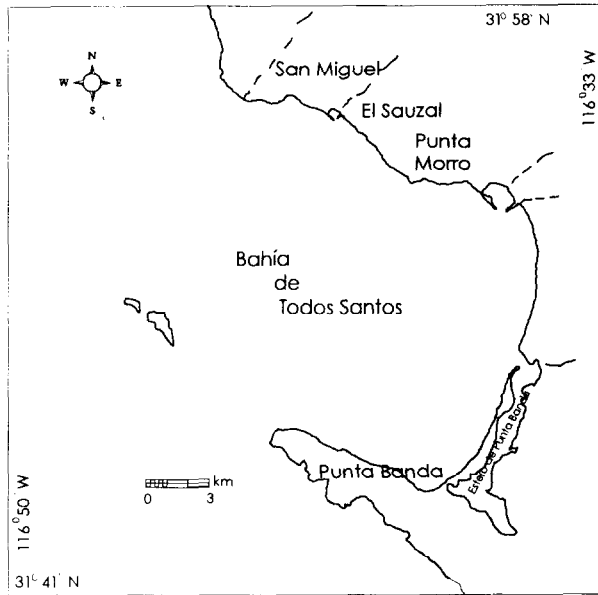
With the knowledge of long-term erosion rates it is possible to more clearly establish changes along the coastline, since cliff retreat rates are not uniform throughout a certain period, but rather both intense periods of erosion and periods of little change in the evolution of sea cliffs can occur.

It is also important to determine the amount of sediment supplied to the littoral system by the cliffs, since this helps to maintain the sediment budget of the coastal zone, which is reflected in the formation or erosion of the beaches (Komar, 1976).

The present study establishes the cliff retreat rate and the amount of sediment supplied to the littoral of Todos Santos Bay, for the period 1970 to 1991.

## **STUDY AREA**

Todos Santos Bay is located on the northwest coast of the peninsula of Baja California,



**Figura 1.** Localización del área de estudio.  
**Figure 1.** Location of the study area.

En el presente trabajo se determina la razón de retroceso de los cantiles marinos y el volumen de sedimento aportado al sistema litoral de la Bahía de Todos Santos, para el periodo comprendido entre 1970 y 1991.

### ÁREA DE ESTUDIO

La Bahía de Todos Santos está ubicada en la costa noroeste de la península de Baja California, entre los 31°40' y 31°56' de latitud Norte y 116°36' y 116°50' de longitud Oeste. Sus límites naturales le dan una forma trapezoidal, con un área aproximada de 24,090 ha, de 18 km de largo por 15 km de ancho (fig. 1).

El origen de la bahía es tectónico y está formada por rocas ígneas y sedimentarias del Cretácico. Al norte de San Miguel se encuentran varias terrazas de origen marino que se formaron durante el Pleistoceno; en esta zona existen playas de bolsillo angostas, terrazas y cantiles marinos. De El Sauzal de Rodríguez hasta cerca de Punta Morro la playa es angosta,

between 31°40' and 31°56'N and 116°36' and 116°50'W. Its natural boundaries form a trapezoid, with an approximate area of 24,090 ha, 18 km long by 15 km wide (fig. 1).

The bay has tectonic origins and is made up of igneous and sedimentary rocks of the Cretaceous period. To the north of San Miguel there are many terraces of marine origin, formed during the Pleistocene; in this area there are narrow pocket beaches, terraces and sea cliffs. From El Sauzal de Rodríguez to close to Punta Morro, the beach is narrow and made up of boulders. From Punta Morro to Ensenada, the coast consists of cliffs of extrusive igneous rock, mainly basalt and andesite, and is only interrupted by one pocket beach (Playitas). The east coast of the bay forms a wide sandy beach 14 km long, of well-sorted medium sands, delimited in the back by dunes and a piedmont terrace. Further south is Estero de Punta Banda, limited by a sand bar, approximately 7 km long. At the end of the bay is the peninsula of Punta Banda, made up of prebatholithic volcanic rocks.

formada de cantos rodados. De Punta Morro a Ensenada la costa está constituida de cantiles de roca ígnea extrusiva, principalmente basalto y andesita, sólo interrumpida por una playa de bolsillo (Playitas). La costa este de la bahía forma una playa arenosa ancha de 14 km de longitud, de arenas medias, bien clasificadas, limitada en su parte posterior por dunas y una meseta de pie de monte. Siguiendo hacia el sur se encuentra el Estero de Punta Banda, limitado por una barra arenosa de aproximadamente 7 km de longitud. Al final de la bahía se encuentra la península de Punta Banda, formada por rocas volcánicas prebatolíticas, formadoras de altos cantiles cortados casi verticalmente, interrumpidos sólo localmente por pequeñas playas de bolsillo constituidas de cantos rodados. Existe una pequeña extensión de costa, que va desde Rincón de Ballenas hasta Tres Hermanas, formada por terrazas marinas de rocas sedimentarias postbatolíticas del Cretácico (Plaza-Flores, 1979; Baca-Chacón, 1981; Ulloa-Torres, 1989).

## METODOLOGÍA

Se identificaron cuatro sectores de cantiles dentro de la Bahía de Todos Santos: San Miguel, El Sauzal, Punta Morro/El Vigía y Punta Banda. Se analizaron las series de fotografías aéreas de la Bahía de Todos Santos obtenidas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) en octubre de 1970, octubre de 1985, julio de 1989 y septiembre de 1991. Éstas fueron digitalizadas y las series de datos generados se graficaron como mapas georeferenciados, obteniendo como resultado las líneas de costa para los diferentes años examinados. Éstas se superpusieron una a otra y se midió la distancia entre ellas en aquellas zonas donde la línea de costa más antigua se encontraba adelantada con respecto al periodo comparado, obteniendo de esta manera la razón de retroceso del cantil para los diferentes periodos analizados y para cada uno de los sectores identificados.

Para determinar el volumen de sedimento aportado por los cantiles ( $A$ ) se utilizó la ecuación recomendada por Shuisky y Schwartz (1983), la cual incluye la razón promedio de

forming high, almost vertical cliffs, interrupted only locally by small pocket beaches of boulders. There is a small coastal extension from Rincón de Ballenas to Tres Hermanas, formed by marine terraces of sedimentary postbatolitic rocks of the Cretaceous period (Plaza-Flores, 1979; Baca-Chacón, 1981; Ulloa-Torres, 1989).

## METHODS

Four cliff sectors were identified in Todos Santos Bay: San Miguel, El Sauzal, Punta Morro/El Vigía and Punta Banda. A series of aerial photographs of Todos Santos Bay, taken by the Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) in October 1970, October 1985, July 1989 and September 1991, were analyzed. They were digitized and the data series generated were plotted as geographic maps to obtain the coastlines for the different years studied. They were superposed, measuring the distance between the oldest coastline and that of the period in question, thus obtaining the cliff retreat rate for the different periods analyzed and for each of the sectors identified.

The equation recommended by Shuisky and Schwartz (1983) was used to determine the sediment volume supplied by the cliffs ( $A$ ), the average cliff retreat rate in meters per year ( $W_d$ ), the average height of the cliff ( $H$ ) and the erodible length of the cliff ( $D$ ), so that:

$$A = W_d H D \quad (1)$$

This equation defines a total volume produced by a cliff along a sector of a given coast. If there are many sectors in the zone, then the total volume supplied by the cliffs ( $A$ ) is the sum of the volume supplied by each of the sectors ( $A_1, A_2, \dots, A_n$ ), as long as the  $A$  values are from the same period:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots A_n \quad (2)$$

The height of the cliffs was calculated from the aerial photographs, using a stereoscope and a parallax bar (0.01 cm of approximation), and the method of parallax differences between two

retroceso del cantil en metros por año ( $W_A$ ), la altura promedio del cantil ( $H$ ) y la longitud erosionable del cantil ( $D$ ), de tal manera que:

$$A = W_A H D \quad (1)$$

Los cálculos de esta ecuación definen un volumen total producido por un cantil a lo largo de un sector de la costa dado. Si dentro de la zona existen varios sectores, entonces el volumen total aportado por los cantiles ( $A$ ) será la suma del volumen aportado por cada uno de los sectores ( $A_1, A_2, \dots, A_n$ ), siempre y cuando los valores de  $A$  sean para el mismo periodo:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n \quad (2)$$

A partir de las fotografías aéreas se calculó la altura de los cantiles, utilizando para ello el estereoscopio y la barra de paralaje (0.01 cm de aproximación), por medio del método de diferencia de paralaje entre dos puntos de diferente altura (López-Vergara, 1978). Esto es:

$$h = \frac{D_f E D_p}{f_b + D_p} \quad (3)$$

donde  $h$  es la diferencia de cotas entre dos puntos;  $D$  la distancia focal de la fotografía;  $E$  la escala de la fotografía;  $D_p$  la diferencia de paralaje, esto es, la diferencia entre la lectura del punto más alto ( $P_t$ ) y el punto más bajo ( $P_n$ );  $f_b$  la fotobase corregida, que se obtiene conociendo que la fotobase es la distancia en milímetros que hay entre el punto central de la foto y  $P_t$ : si  $P_t < P_n$ , entonces  $f_b = f_b + D_p$ ; si  $P_t > P_n$ , entonces  $f_b = f_b - D_p$ .

A estos cantiles se les midió la longitud correspondiente a la longitud erosionable del cantil ( $D$ ), obteniendo así todos los datos requeridos por la ecuación (1).

Del volumen total aportado por el cantil, dependiendo de su composición litológica, de las características del oleaje y de las corrientes litorales, una fracción de la población sedimentaria permanecerá sobre la parte expuesta de la playa (fracción gruesa), mientras que otra (fracción fina) se mantendrá en suspensión. En el caso de la Bahía de Todos Santos, la altura de las olas oscila entre 0.4 y 2.1 m, alcanzado

points of different height (López-Vergara, 1978). That is:

$$h = \frac{D_f E D_p}{f_b + D_p} \quad (3)$$

where  $h$  is the difference in height between two points;  $D$  the focal distance of the photograph;  $E$  the scale of the photograph;  $D_p$  the parallax difference, which is the difference between the the highest point ( $P_t$ ) and the lowest point ( $P_n$ );  $f_b$  the corrected photobase, which is the distance, in millimeters, between the central point of the photograph and  $P_t$ : if  $P_t < P_n$ , then  $f_b = f_b + D_p$ ; if  $P_t > P_n$ , then  $f_b = f_b - D_p$ .

The erodible length ( $D$ ) of the cliffs was measured, thus obtaining the data required for equation (1).

Of the total volume supplied by the cliff, depending on its lithologic composition, the characteristics of the waves and the littoral currents, a fraction of the sediments will remain in the exposed part of the beach (coarse fraction), and another (fine fraction) will be suspended. In Todos Santos Bay, the wave height oscillates between 0.4 and 2.1 m, reaching maximum values of 2.4 m during winter (Coria-Méndez, 1991), and the wave period varies from 5 to 18 s (Martínez-Díaz de León *et al.*, 1989). These wave characteristics produce turbulence and littoral currents that separate the material supplied by the cliff erosion, allowing only grain sizes greater than  $3.5 \phi$  (coarse fraction) to be deposited on the beach, while smaller sizes (fine fraction) are suspended and transported offshore.

## RESULTS

The results obtained for the four cliff sectors analyzed are shown in tables 1, 2, 3 and 4, and correspond to San Miguel, El Sauzal, Punta Morro/El Vigía and Punta Banda, respectively. The average retreat rate ( $W_A$ ), cliff height ( $H$ ), erodible length ( $D$ ) and average volume of sediment supplied, in cubic meters per year, are shown.

The cliffs of San Miguel have an average retreat rate of 0.93 m/yr and those of El Sauzal, 0.97 m/yr; at Punta Morro/El Vigía, the average

valores máximos de 2.4 m en el invierno (Coria-Méndez, 1991) y el periodo varía de 5 a 18 s (Martínez-Díaz de León *et al.*, 1989). Estas características de oleaje producen turbulencia y corrientes litorales que seleccionan el material aportado por la erosión de los cantiles, permitiendo que únicamente se depositen en la playa tamaños de grano mayores a  $3.5 \phi$  (fracción gruesa), mientras que tamaños menores (fracción fina) permanecen suspendidos y son transportados mar afuera.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos para los cuatro sectores de cantiles analizados se muestran en las tablas 1, 2, 3 y 4, las cuales corresponden a San Miguel, El Sauzal, Punta Morro/El Vigía y Punta Banda, respectivamente. Se presenta la razón promedio de retroceso ( $W_r$ ), la altura del cantil ( $H$ ), la longitud erosionable ( $D$ ) y el volumen promedio de sedimento aportado en metros cúbicos por año.

Los cantiles de San Miguel presentan una razón promedio de retroceso de 0.93 m/año y los de El Sauzal de 0.97 m/año; en el sector de Punta Morro/El Vigía la razón promedio de retroceso es de 0.7 m/año y en Punta Banda es de 0.89 m/año, durante el periodo comprendido entre 1970 y 1991. Las figs. 2, 3 y 4 muestran los sectores y los intervalos del cantil que fueron monitoreados.

El volumen total aportado por los cantiles en el sector de San Miguel (cantiles 1 a 5 en la fig. 2) fue de 14,097.71 m<sup>3</sup>/año, de los cuales el 17%, esto es 2,424.18 m<sup>3</sup>/año, corresponde a la fracción fina (menores de  $3.5 \phi$ ), y el resto, 11,673.53 m<sup>3</sup>/año, a la fracción gruesa, la cual pasa a formar parte de la playa (tabla 1). En el sector de El Sauzal (cantiles 6 al 26 en la fig. 2), los cantiles aportan un volumen total de sedimento de 14,004.79 m<sup>3</sup>/año, con una fracción fina de 4,828.99 m<sup>3</sup>/año y una fracción gruesa de 9,175.80 m<sup>3</sup>/año. Según Ramos-Olvera (1993), el porcentaje de fracción fina varía en estos cantiles, ya que existen zonas en donde éste es de 4.5 a 9.5% (cantiles 12 a 17 en la fig. 2), mientras que en otras (cantiles 22 al 26), esta fracción fina es del 100%. En otras zonas del sector (cantiles 7 al 11 y del 18 al 21), los cantiles son de roca volcánica.

retreat rate is 0.7 m/yr and at Punta Banda, 0.89 m/yr, from 1970 to 1991. Figures 2, 3 and 4 show the cliff sectors and intervals that were monitored.

The total volume supplied by the cliffs in the San Miguel sector (cliffs 1 to 5 in fig. 2) was 14,097.71 m<sup>3</sup>/yr, of which 2,424.18 m<sup>3</sup>/yr (17%) corresponds to the fine fraction (smaller than  $3.5 \phi$ ), and the rest, 11,673.53 m<sup>3</sup>/yr, to the coarse fraction that, in turn, forms part of the beach (table 1). In the El Sauzal sector (cliffs 6 to 26 in fig. 2), the cliffs supply a total sediment volume of 14,004.79 m<sup>3</sup>/yr, with a fine fraction of 4,828.99 m<sup>3</sup>/yr and coarse fraction of 9,175.80 m<sup>3</sup>/yr. According to Ramos-Olvera (1993), the fine-fraction percentage varies for these cliffs, from 4.5-9.5% in some zones (cliffs 12 to 17 in fig. 2) to 100% in others (cliffs 22 to 26). In other zones of the sector (cliffs 7 to 11 and 18 to 21), the cliffs consist of volcanic rock.

The Punta Morro/El Vigía cliff sector (cliffs 27 to 32 in fig. 3) supply a total volume of 9,014.34 m<sup>3</sup>/yr, of which 7,530.14 m<sup>3</sup>/yr (82%) corresponds to the fine fraction and the rest, 1,484.20 m<sup>3</sup>/yr, to the coarse fraction. The Punta Banda sector (cliffs 32 to 42 in fig. 4) supplies a total of 16,194.43 m<sup>3</sup>/yr; of this amount, 11,708.56 m<sup>3</sup>/yr (> 70%) corresponds to fine sands and the rest to the coarse fraction.

## DISCUSSION

The cliffs of San Miguel, El Sauzal and Punta Banda have the greatest average retreat rates, 0.93, 0.97 and 0.89 m/yr, respectively, whereas the cliffs of the Punta Morro/El Vigía sector have the lowest, 0.7 m/yr. Even though the erodible length, 2,741 m, of the El Sauzal sector is almost twice that of San Miguel, 1,402 m (fig. 5), both supply almost the same amount of sediment. This is because the average height of the cliffs of San Miguel is 12 m, whereas that of El Sauzal is a little more than 5 m (tables 1, 2). However, the coarse-fraction percentage is much greater at San Miguel (83%) than at El Sauzal (65%) (fig. 6). The total volume supplied by the cliffs of Punta Morro/El Vigía is the smallest of the sectors, only 9,014.34 m<sup>3</sup>/yr (table 3, fig. 6); the total volume at Punta Banda is 16,194.43 m<sup>3</sup>/yr, the

**Tabla 1.** Razón de retroceso ( $W_A$ ), altura del cantil ( $H$ ), longitud erosionable del cantil ( $D$ ) y volumen de sedimento aportado por los cantiles del sector San Miguel.**Table 1.** Retreat rate ( $W_A$ ), cliff height ( $H$ ), erodible cliff length ( $D$ ) and sediment volume supplied by cliffs of the San Miguel sector.

Cantil	$W_A$ (m/año)	$H$ (m)	$D$ (m)	Volumen (m <sup>3</sup> /año)	Fracción fina (m <sup>3</sup> /año)	Fracción gruesa (m <sup>3</sup> /año)
1	0.73	20.17	144.08	2,180.34	436.00	1,744.34
2	0.73	15.53	173.00	1,961.28	392.25	1,569.03
3	0.73	10.80	260.00	2,049.84	410.00	1,639.84
4	1.25	9.9	550.00	6,806.25	1,020.93	5,785.32
5	1.25	3.2	275.00	1,100.00	165.00	935.00
Total				14,097.71	2,424.18	11,673.53

**Tabla 2.** Razón de retroceso ( $W_A$ ), altura del cantil ( $H$ ), longitud erosionable del cantil ( $D$ ) y volumen de sedimento aportado por los cantiles del sector El Sauzal.**Table 2.** Retreat rate ( $W_A$ ), cliff height ( $H$ ), erodible cliff length ( $D$ ) and sediment volume supplied by cliffs of the El Sauzal sector.

Cantil	$W_A$ (m/año)	$H$ (m)	$D$ (m)	Volumen (m <sup>3</sup> /año)	Fracción fina (m <sup>3</sup> /año)	Fracción gruesa (m <sup>3</sup> /año)
6	1.00	4.55	50.00	227.50	18.20	209.3
7	1.46	6.70	112.50	1,100.48	0	1,100.48
8	1.39	6.65	275.00	2,541.96	0	2,541.96
9	1.04	6.9	75.00	538.20	0	538.20
10	0.41	6.65	97.50	265.83	0	265.83
11	0.45	5.75	75.00	194.06	0	194.06
12	0.65	5.88	75.00	286.65	22.93	263.62
13	0.63	5.88	202.50	750.14	63.76	686.38
14	0.88	6.00	52.50	277.2	19.4	257.80
15	1.25	4.50	20.00	112.50	4.5	108.00
16	1.00	3.00	52.50	157.50	14.96	142.54
17	0.50	4.00	45.00	90.00	7.20	82.80
18	1.75	4.15	70.00	508.38	0	508.38
19	1.25	3.45	70.00	301.88	0	301.88
20	1.63	4.55	70.00	519.16	0	519.16
21	1.05	4.85	275.00	1,400.44	0	1,400.44
22	0.22	4.25	275.00	257.13	257.13	0
23	0.95	4.00	350.00	1,330.00	1,300.00	30
24	0.95	4.75	262.50	1,246.88	1,246.88	0
25	1.54	5.00	225.00	1,732.50	1,732.50	0
26	0.30	5.00	111.00	166.50	141.53	24.97
Total				14,004.79	4,828.99	9,175.80

**Tabla 3.** Razón de retroceso ( $W_A$ ), altura del cantil ( $H$ ), longitud erosionable del cantil ( $D$ ) y volumen de sedimento aportado por los cantiles del sector Punta Morro/El Vigía.

**Table 3.** Retreat rate ( $W_A$ ), cliff height ( $H$ ), erodible cliff length ( $D$ ) and sediment volume supplied by cliffs of the Punta Morro/El Vigía sector.

Cantil	$W_A$ (m/año)	$H$ (m)	$D$ (m)	Volumen (m <sup>3</sup> /año)	Fracción fina (m <sup>3</sup> /año)	Fracción gruesa (m <sup>3</sup> /año)
27	1.25	4.80	148.00	888.00	754.80	133.20
28	1.20	7.72	550.00	5,095.20	4,330.92	764.28
29	0.50	6.80	370.00	1,258.00	1,006.4	251.60
30	0.51	5.10	150.00	390.15	331.63	58.52
31	0.50	5.06	207.20	542.22	433.78	108.44
32	0.50	4.41	381.30	840.77	672.61	168.16
Total				9,014.34	7,530.14	1,484.20

**Tabla 4.** Razón de retroceso ( $W_A$ ), altura del cantil ( $H$ ), longitud erosionable del cantil ( $D$ ) y volumen de sedimento aportado por los cantiles del sector Punta Banda.

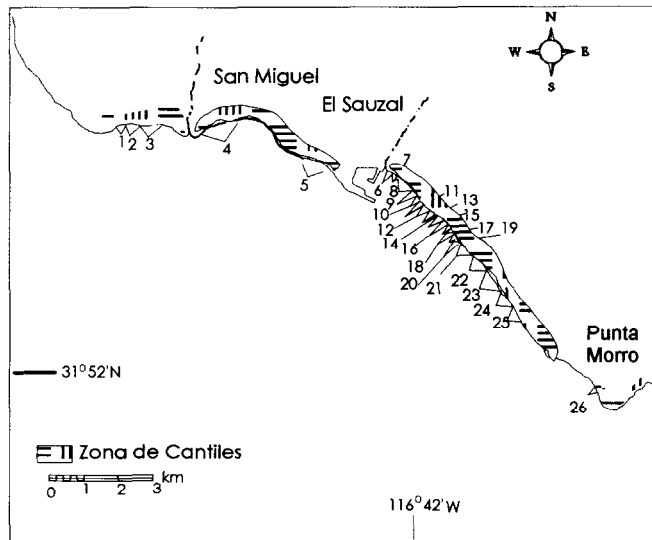
**Table 4.** Retreat rate ( $W_A$ ), cliff height ( $H$ ), erodible cliff length ( $D$ ) and sediment volume supplied by cliffs of the Punta Banda sector.

Cantil	$W_A$ (m/año)	$H$ (m)	$D$ (m)	Volumen (m <sup>3</sup> /año)	Fracción fina (m <sup>3</sup> /año)	Fracción gruesa (m <sup>3</sup> /año)
33	1.24	3.57	111.00	491.37	355.26	136.11
34	1.25	10.11	192.40	2,421.73	1,750.91	670.82
35	1.25	14.33	111.00	1,988.29	1,437.53	550.76
36	1.25	13.67	148.00	2,528.95	1,828.43	700.52
37	0.94	13.73	118.40	1,531.35	1,107.16	424.19
38	0.63	13.47	55.50	473.22	342.14	131.08
39	0.63	13.94	103.60	914.17	660.94	253.23
40	0.71	14.10	277.50	2,778.05	2,008.53	769.52
41	0.50	11.00	225.70	1,241.35	897.50	343.85
42	0.50	14.10	259.00	1,825.95	1,320.16	505.79
Total				16,194.43	11,708.56	4,485.87

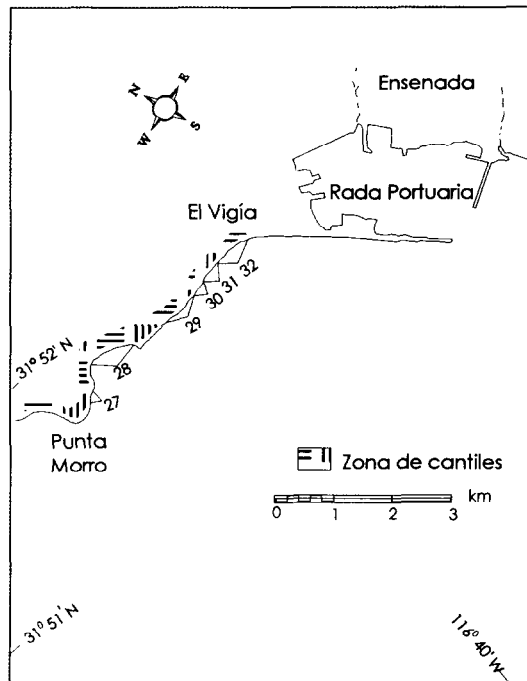
El sector de cantiles Punta Morro/El Vigía (cantiles 27 al 32 en la fig. 3) aporta un volumen total de 9,014.34 m<sup>3</sup>/año, de los cuales el 82% corresponde a la fracción fina, esto es 7,530.14 m<sup>3</sup>/año; el resto, 1,484.20 m<sup>3</sup>/año, es de la fracción gruesa. Finalmente, el sector de Punta Banda (cantiles 32 a 42 en la fig. 4) aporta un total de 16,194.43 m<sup>3</sup>/año; de esta cantidad, más del 70% (11,708.56 m<sup>3</sup>/año) corresponde a arenas finas y un restante a la fracción gruesa.

greatest sediment volume supplied to the littoral system (table 4, fig. 6). The supply per fraction of these two sectors is different to that of San Miguel and El Sauzal. The sediments correspond mainly to the fine fraction, 83% for Punta Morro/El Vigía and 72% for Punta Banda, while the coarse fraction dominates at San Miguel and El Sauzal. This is due to the difference in the lithology of the cliffs. In the San Miguel sector (fig. 2), the cliffs form part of marine terraces made up of sandstone,

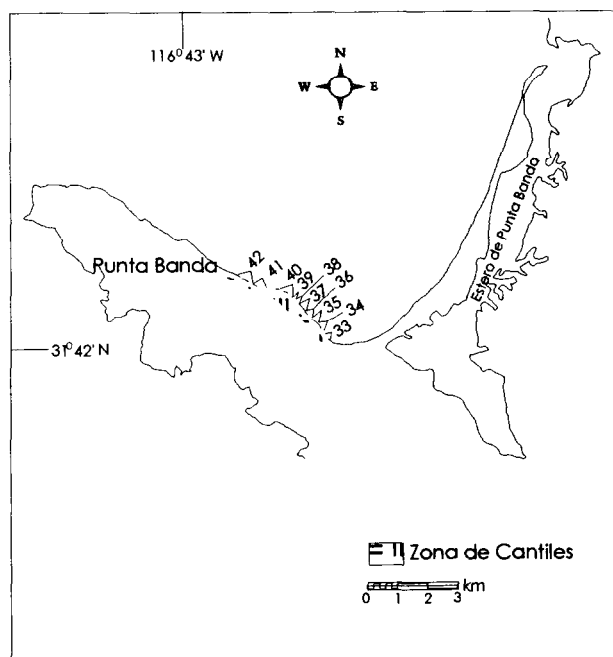




**Figura 2.** Localización de los cantiles de los sectores San Miguel y El Sauzal.  
**Figure 2.** Location of the cliffs of the San Miguel and El Sauzal sectors.



**Figura 3.** Localización de los cantiles del sector Punta Morro/El Vigía.  
**Figure 3.** Location of the cliffs of the Punta Morro/El Vigía sector.



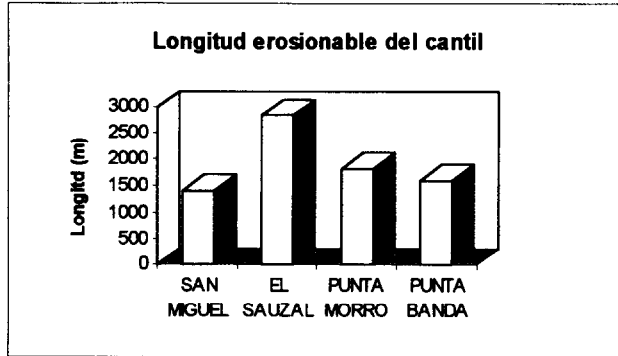
**Figura 4.** Localización de los cantiles del sector Punta Banda.  
**Figure 4.** Location of the cliffs of the Punta Banda sector.

## DISCUSIÓN

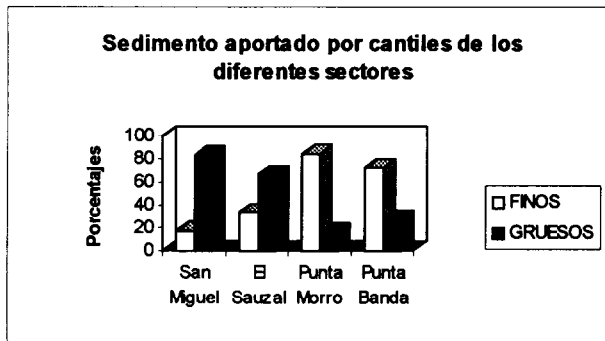
Los cantiles de San Miguel, El Sauzal y Punta Banda presentan la mayor razón promedio de retroceso, de 0.93, 0.97 y 0.89 m/año, respectivamente, mientras que los cantiles del sector Punta Morro/El Vigía presentaron la razón más baja, 0.7 m/año. Aunque la longitud erosionable de 2,741 m en el sector de El Sauzal es casi el doble que la del sector de San Miguel, de 1,402 m (fig. 5), ambos aportan prácticamente el mismo volumen de sedimento. Esto se debe a que la altura promedio de los cantiles de San Miguel es de 12 m, mientras que en El Sauzal ésta es de poco más de 5 m (tablas 1, 2). Sin embargo, el porcentaje de fracción gruesa es mucho mayor en San Miguel (83%) que en El Sauzal (65%) (fig. 6). El volumen total aportado por los cantiles de Punta Morro/El Vigía es el menor de todos los sectores, tan solo de 9,014.34 m<sup>3</sup>/año (tabla 3, fig. 6), mientras que en Punta Banda el volumen

conglomerates and shale. They are composed of 70 to 80% sandstone and conglomerates. The remaining sediment is alluvium that overlies the cliffs, which present a beach of coarse sand and boulders at the base. The lithology of the cliffs of the El Sauzal sector (6 to 21 in fig. 2) presents shale sequences with interlacing layers of sandstone (less than 1 m thick). Over these, there are alluvium deposits with poorly-sorted conglomerates and sandstone lenses. The composition of these cliffs is reflected in the beaches, consisting of coarse sand and boulders. Towards the south (22 to 25 in fig. 2), the lithology changes; most of the area consists of alluvium deposits over a basement of igneous rock, resulting in a beach composed of a basalt terrace. The alluvium material corresponds exclusively to the fine fraction that, when eroded, is suspended and transported offshore.

Cliffs 27 to 32 of the Punta Morro/ El Vigía sector (fig. 3) have the lowest average retreat rate (0.70 m/yr) because they consist mainly of



**Figura 5.** Longitud erosionable de los cuatro sectores de cantiles de la Bahía de Todos Santos.  
**Figure 5.** Erodible length of the four cliff sectors of Todos Santos Bay.



**Figura 6.** Porcentaje de aporte de sedimento de los cuatro sectores de cantiles. La fracción fina corresponde a tamaños menores de 3.5  $\phi$ .  
**Figure 6.** Percent sediment supplied by the four cliff sectors. The fine fraction corresponds to sizes smaller than 3.5  $\phi$ .

total es de 16,194.43 m<sup>3</sup>/año, siendo los cantiles que mayor volumen de sedimento aportan al sistema litoral (tabla 4, fig. 6). En estos dos sectores, el aporte por fracciones es contraria a la obtenida en San Miguel y El Sauzal, ya que el aporte de sedimentos corresponde principalmente a la fracción fina, 83% para Punta Morro/El Vigía y 72% para Punta Banda, mientras que en San Miguel y El Sauzal la fracción gruesa es la dominante. Este patrón se debe a la diferencia en la litología de los cantiles. En el sector de San Miguel (fig. 2), los cantiles forman parte de terrazas marinas constituidas por

basaltic rock. The cliffs of section 28 have a retreat rate of 1.2 m/yr, supplying 50.95% of the sediment volume of the sector. This is because they are composed exclusively of sedimentary rock (sandstone and alluvium in the upper part). Of this percentage, only 15% corresponds to the coarse fraction, and it is the only site of the sector that has a sandy pocket beach.

The Punta Banda sector (fig. 4) presents an average retreat rate of 0.89 m/yr; the cliffs consist of shale and sandstone. Thirty percent corresponds to the coarse fraction that characterizes the beaches of this sector. It should be

areniscas, conglomerados y lutitas. Éstos están compuestos del 70 al 80% de areniscas y conglomerados. El sedimento restante es aluvi6n que yace sobre los cantiles, los cuales presentan en su base una playa constituida de arenas gruesas y cantos rodados. La litologfa de los cantiles del sector de El Sauzal (6 a 21 en la fig. 2) se caracteriza por presentar secuencias de lutitas con capas intercaladas de areniscas (menores de 1 m de espesor). Sobre 6stas existen dep6sitos de aluvi6n con conglomerados mal clasificados y lentes de areniscas. La composici6n de estos cantiles se ve reflejada en sus playas de arenas gruesas y cantos rodados. Hacia el sur (22 a 25 en la fig. 2) la litologfa cambia, siendo en su mayor parte dep6sitos de aluvi6n sobre un basamento de rocas igneas, por lo que en esta zona la playa es una meseta bas6ltica. El material de aluvi6n corresponde exclusivamente a la fracci6n fina, que al erosionarse es puesta en suspensi6n y transportada mar afuera.

En cuanto a los cantiles 27 al 32 (fig. 3) del sector Punta Morro/El Vigfa, presentan en promedio la raz6n de retroceso m6s baja (0.70 m/a6o), debido a que est6n compuestos de roca bas6ltica principalmente. Los cantiles de la secci6n 28 tienen una raz6n de retroceso de 1.2 m/a6o, aportando el 50.95% del volumen de sedimentos del sector. Esto es debido a que est6n compuestos exclusivamente de roca sedimentaria (areniscas y aluvi6n en su parte superior). Del porcentaje anterior, s6lo el 15% corresponde a la fracci6n gruesa, siendo la 6nica localidad del sector que presenta una playa de bolsillo arenosa.

El sector Punta Banda (fig. 4) muestra una raz6n promedio de retroceso de 0.89 m/a6o; estos cantiles est6n constituidos por lutitas y areniscas. El 30% corresponde a la fracci6n gruesa que caracteriza las playas de este sector. Es importante se6alar que el material erosionado de estos cantiles es un abastecedor de las playas adyacentes que forman la barra del Estero de Punta Banda, ya que el sistema de corrientes litorales mueve el material sedimentario en esta direcci6n (Baca-Chac6n, 1981; M6ndez-Arriaga, 1982; Aranda-Manteca, 1983). El transporte selectivo causado por las corrientes y el oleaje ocasiona que los granos gruesos (cantos rodados y arenas gruesas) se

noted that the material eroded from these cliffs ends up on the adjacent beaches that form the sand bar of Estero de Punta Banda, since the littoral current system transports the sediment in this direction (Baca-Chac6n, 1981; M6ndez-Arriaga, 1982; Aranda-Manteca, 1983). The selective transport of the currents and waves deposits the coarse grains (boulders and coarse sands) at the base of the sand bar (SE), and the finer sands towards the tip (NW).

## CONCLUSIONS

The values obtained for the 1970 to 1991 period show that the four sectors of cliffs identified undergo intense erosive processes, with similar average values. However, the difference lies in the quality of the material supplied. The San Miguel and El Sauzal sectors supply a large amount of the coarse fraction that, in turn, forms part of the beaches. The fine fraction dominates the coarse fraction at the Punta Morro/El Vigfa and Punta Banda sectors. However, the coarse fraction at Punta Banda is important for maintaining the sediment budget of the sand bar of Estero de Punta Banda.

The cliffs of Todos Santos Bay are an important source of sediments for the littoral system, the budget of which can be seriously affected if coastal developments are not properly planned.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Our thanks to Am6lcar Levi Cupul-Maga6a, Ram6n Astorga and C6sar Garcfa G. for their technical support during this study.

English translation by Jennifer Davis.

---

encuentren en la base de la barra (SE), mientras que las arenas m6s finas se encuentran hacia la punta (NO).

## CONCLUSIONES

Los valores obtenidos de la comparaci6n de los a6os de 1970 a 1991 muestran que los cuatro sectores de cantiles identificados se

encuentran en un proceso erosivo intenso, con valores promedios similares. Sin embargo, la diferencia estriba en la calidad del material aportado, ya que los sectores de San Miguel y El Sauzal aportan una gran cantidad de fracción gruesa, la cual pasa a formar parte de las playas, mientras que en los sectores de Punta Morro/El Vigía y Punta Banda la fracción fina es predominante sobre la fracción gruesa, aunque en el caso de Punta Banda, esta fracción gruesa es un importante aporte para ayudar a mantener el balance sedimentario de la barra del Estero de Punta Banda.

Los cantiles de la Bahía de Todos Santos son una fuente importante en el aporte de sedimentos al sistema litoral, cuyo balance puede ser gravemente afectado en la medida en que estos cantiles sean modificados en función de un desarrollo costero mal planificado.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores hacen patente su agradecimiento a Amílcar Levi Cupul-Magaña, Ramón Astorga y César García G., por el apoyo técnico brindado para la realización de este trabajo.

#### REFERENCIAS

- Aranda-Manteca, F.J. (1983). Estudio de minerales pesados como trazadores de la corriente litoral en la Bahía de Todos Santos, BC. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, México. 78 pp.
- Baca-Chacón, C. (1981). Procedencia de minerales pesados en la Bahía de Todos Santos, BC. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, México, 50 pp.
- Coria-Méndez, P. (1991). Distribución de probabilidad de la altura significativa del oleaje y cálculo de periodos de retorno para el puerto de Ensenada, BC, México. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, México, 40 pp.
- Komar, P.D. (1976). Beach Processes and Sedimentation. Prentice-Hall, 425 pp.
- López-Vergara, M.I. (1978). Manual de Fotogeología. Publicaciones Científicas de la Junta de Energía Nuclear, Madrid, España, 308 pp.
- Martínez-Díaz de León, A., Nava-Button, C. y Ocampo-Torres, F.J. (1989). Estadística del oleaje en la Bahía de Todos Santos, BC, de septiembre de 1986 a agosto de 1987. Ciencias Marinas. 15(3): 1-20.
- Méndez-Arriaga, M.A. (1982). Determinación del transporte litoral predominante en la Bahía de Todos Santos, BC. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, México, 30 pp.
- Plaza-Flores, J. (1979). Cambios en la playa San Miguel debido a un deslizamiento y a la adición de nuevo material vertido a la línea de costa. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, México, 30 pp.
- Ramos-Olvera, R. (1993). Cantiles en la zona de El Sauzal de Rodríguez: perfiles, procesos y problemas. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, México, 35 pp.
- Renaul-Ballester, P. y García-Gutiérrez, C. (1994). Plan de desarrollo urbano, Ensenada, BC. Dirección de Desarrollo Urbano y Ecología, Departamento de Planeación, Ensenada, BC, 119 pp.
- Shuisky, Y.D. and Schwartz, M.L. (1983). Basic principles of sedimentary budget study in the coastal zone. Shore and Beach. January, pp. 35-41
- Ulloa-Torres, M.J. (1989). Refracción lineal del oleaje en el puerto de Ensenada, BC. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, México, 66 pp.