

## TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LA BAHIA DE TODOS SANTOS, B. C.

### SEDIMENT TRANSPORT IN TODOS SANTOS BAY, B. C.

Por/by

Roberto Pérez Higuera  
Alfredo Chee Barragán  
Instituto de Investigaciones Oceanológicas  
Apartado Postal 453  
Ensenada, B.C., México

PEREZ HIGUERA, R.; A. Chee Barragán. 1984. Transporte de sedimentos en la Bahía de Todos Santos, B.C. Sediment transport in Todos Santos Bay, B.C. *Ciencias Marinas* 10 (3): 31-52 (22)

#### RESUMEN

Utilizando parámetros texturales de los sedimentos, media ( $m$ ), dispersión ( $D$ ) y asimetría ( $A$ ), en estaciones localizadas en la playa y atrás de la zona de rompiente, se infieren trayectorias del sedimento en el litoral de la Bahía de Todos Santos, B.C. En la parte norte de la bahía el transporte dominante es hacia el Sur, en la zona central se infiere una circulación hacia el Norte en la playa, y hacia el Sur atrás de la zona de rompiente; en la parte sur la circulación en la zona de playa, como en el mar, es en sentido Norte.

#### ABSTRACT

Using textural parameters, mean ( $m$ ), dispersion ( $D$ ) and skewness ( $A$ ) of sediments sampled on the beach and just seaward of the breaker zone, inference is made on the trajectory patterns of the sediments in the littoral zone of Bahía de Todos Santos, B. C. In the northern portion of the bay, the dominant transport is southward, in the central portion two different directions are inferred: northward on the beach and southward just behind the breaker zone and finally in the south portion of the bay the circulation pattern is inferred to be northward on the beach as well as behind the breaker zone.

#### INTRODUCCION

El litoral de la Bahía de Todos Santos, se compone en general de acantilados, una laguna costera, playas arenosas y una zona portuaria. Estas dos últimas representan una fuente de ingresos para la población de Ensenada, merced a la afluencia de turismo y a las actividades pesqueras y marino mercantes respectivamente, por lo cual se contempla la realización de obras de ampliación para optimizar el uso de estas fuentes de recursos.

Es importante reconocer y evaluar los procesos físicos que tienen lugar en la franja costera, ya que con esto es posible planear las actividades y estructuras para el aprovechamiento máximo de la costa.

Cuando las olas rompen formando un ángulo entre la cresta de la rompiente y la

#### INTRODUCTION

The coast line of Todos Santos Bay, consists in general of cliffs, a coastal lagoon, sandy beaches and a port; the last two represent a source of income for the population of Ensenada, both from the tourist activity and fisheries and merchant marine activities.

It is important to recognize and evaluate the physical process taking place along the coastal zone for by knowing this, it is possible to plan the activities and structures needed to take the greatest advantage of the coast.

When the waves break forming an angle between the surf crest and the beach, an energy component along the beach in the direction of the propagation of the wave is generated. This generates the currents close

playa, se genera una componente de energía a lo largo de la playa en dirección de la propagación de la ola. Esto da como resultado la generación de las corrientes cercanas a la costa con un flujo paralelo a la playa adentro de la zona de rompiente. Las olas y las corrientes a lo largo de la costa son los factores más importantes en el transporte y depositación de los sedimentos de la costa.

La manifestación más evidente de la existencia de una corriente litoral con transporte de sedimentos es la acumulación de material, cuando es atrapado por construcciones costeras tales como espigones y escolleras.

La circulación costera ha sido estudiada en diversos lugares atendiendo a necesidades de carácter local y los resultados no pueden generalizarse para regiones costeras extensas. Cada lugar en particular tendrá sus propias características en cuanto a la topografía del fondo, configuración de la costa, tipo de sedimento, aporte de materiales por ríos, oleaje incidente, mareas, vientos dominantes y otros factores cuya influencia en el movimiento del agua deben tomarse en cuenta.

El patrón de circulación costera en la Bahía de Todos Santos parece presentar algunos problemas, ya que en su parte norte (Punta San Miguel, Fig. 1) el oleaje incide sobre la costa con un ángulo notorio que sugiere una corriente litoral hacia el Sur; sin embargo, en la parte central de la bahía (rada), los espigones han servido como trampas de sedimentos que parecen ser el resultado de la depositación de una corriente litoral hacia el Norte; la barra del estero de Punta Banda, en el sur de la bahía, parece indicar una corriente litoral también en dirección Norte (Walton, 1955).

El oleaje predominante para esta región proviene del Noroeste, el cual al incidir sobre la costa provoca una circulación a lo largo de la playa en dirección Sur. Sin embargo, algunas condiciones de tormenta hacen que arribe oleaje proveniente del Sur, generando una corriente en sentido contrario.

La forma de la bahía, la presencia de

to the coast with a flux parallel to the beach inside the surf zone. The waves and the currents along the coast are the most important factors in the transport and deposition of the coastal sediments

The most evident manifestation of the existence of a littoral current transporting sediment is the accumulation of material when it is trapped by coastal constructions such as breakwaters.

The coastal circulation has been studied in several places covering needs of local character and the results cannot be generalized for extensive coastal regions.

Each particular place will have its own characteristics due to the bottom topography, coastal configuration, type of sediment, material contribution by rivers, incident wave action, tides, dominant winds, and other factors whose influence in the water movement must be taken into account.

The coastal circulation pattern in Todos Santos Bay seems to present some problems: in the northern part (Punta San Miguel, Fig. 1) the wave action falls on the coast in a notorious angle that suggests the presence of a littoral current towards the south; however, in the central part of the bay (port area) the breakwaters have served as sediment traps that seem to be the result of the deposition of a littoral current towards the north; the sand bar of the Estero Punta Banda in the southern part of the bay, seems to indicate a littoral current also in a north direction (Walton, 1955).

The predominant wave action in this region comes from the northeast, which when it falls on the coast provokes a circulation along the beach to the south. However, some storm conditions cause the waves coming from the south to arrive generating a current in the opposite direction.

The form of the bay, the presence of shallow areas and the site of the Todos Santos Islands, generate serious problems of wave diffraction, so that the direct determination of the circulation pattern along the beach could only be obtained by the con-

bajos y la localización de las islas de Todos Santos, generan serios problemas de difracción de oleaje; por ello, la determinación directa al patrón de circulación a lo largo de la playa únicamente se podría obtener por el monitoreo continuo, a lo largo de varios años, de mediciones de condiciones de oleaje y de dirección y velocidad de las corrientes.

#### a) Naturaleza del estudio

La geología nos provee de otros elementos para conocer la dirección de transporte litoral. Utilizando las variaciones de las propiedades que presentan los sedimentos en respuesta a su transporte en un fluido y aplicando una técnica apropiada, es posible indicar variaciones en el transporte de sedimentos a través de cambios estacionales o de largo término que, en algunos casos, son más importantes que las mediciones por corrientímetros o flotadores.

Las propiedades de sedimentos que se pueden utilizar para inferir la dirección de transporte litoral están citadas por Sunamura y Horikawa (1971).

En el presente estudio se utilizaron únicamente las variaciones en la distribución por tamaño del sedimento, para cumplir con el objetivo de determinar el patrón de circulación de corrientes a lo largo de la costa en la Bahía de Todos Santos, B.C.

#### b) Antecedentes

Específicamente en la Bahía de Todos Santos, no se ha realizado un trabajo de esta naturaleza, sin embargo se cuenta con algunos antecedentes sobre el tema sedimentológico en los cuales destacan:

Walton (1955), que en su trabajo sobre foraminíferos en la bahía incluyó un estudio en el cual clasifica los sedimentos en tres grupos.

Emery, Gorsline, Uchipi y Terry (1957) describen un aumento en el tamaño de los sedimentos hacia la costa partiendo del interior de la bahía; el cual es este parte de un estudio de tres bahías de Baja California, México.

tinuous measurements of wave conditions and currents' direction and speeds along several years.

#### a) Nature of the study

Geology provides us with other elements to know the direction of the littoral transport. Using the variation of the properties that sediments present as an answer to their transport in a fluid and applying an appropriate technique, it is possible to indicate variations in the sediment transport through seasonal changes or through a long term which, in some cases, are more important than the measurements by current meters and bouys.

The sediment properties that can be used to infer the direction of the littoral transport are cited by Sunamura and Horikawa (1971). In the present study we only used the variation in the distribution by size of the sediment, in order to determine the circulation pattern of currents along the coast of Todos Santos Bay, B. C.

#### b) Antecedents

In Todos Santos Bay there has never been a study of this nature, although there are some antecedents on sedimentology. The outstanding ones are:

Walton (1955) in his work on foraminifera in the bay, included a study in which he clasifies the sediments into three groups.

Emery, Gorsline, Uchupi and Terry (1957) describe an increase in the size of the sediments towards the coast starting from the interior of the bay; this is a part of a study of three bays in Baja California, México.

O'Brien and Zeevaert (1968) did a study in the area of the sand bar of the Estero de Punta Banda with the objective of constructing a marina. They mention that there is a littoral transport towards the north in this area.

Lizárraga (1972), using the beach profiles variation south of the port of Ensenada,

O'Brien y Zeevaert (1968) realizaron un estudio en la zona de la barra del estero de Punta Banda con el objeto de construir una marina, mencionando que en esta zona existe un transporte litoral hacia el Norte.

Lizárraga (1972), utilizando la variación en los perfiles de playa adyacente al sur del Puerto de Ensenada, menciona que el transporte litoral se efectúa de sur a norte.

Baca (1981) afirma que en el suroeste de la bahía los sedimentos se distribuyen en el sentido de la corriente hacia el norte, depositando los más gruesos en Punta Banda y los finos en el área protegida de la barra del estero.

**DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO**

La Bahía de Todos Santos está localizada a 100 km al sur de la frontera México-E.U.A., sobre la costa oeste de la Península de Baja California, entre los 31°40' y 31°56' de latitud N, y de los 116°36' a 116°50' longitud O; presentando una superficie de más de 24,000 hectáreas en forma trapezoidal, con 18 km de largo por 15 km de ancho (Fig. 1).

La forma de la bahía y las características fisiográficas de la costa permiten diferenciar tres zonas:

**Zona norte.** De Punta San Miguel al cerro de El Vigía, caracterizado por playas arenosas de sedimento grueso y acantilados.

**Zona central.** Que comprende desde el Puerto de Ensenada hasta la boca del Estero de Punta Banda; consiste de una playa ancha arenosa.

**Zona sur.** Se extiende desde la boca del estero a la base de Punta Banda; consiste en una barra arenosa que se origina al pie de Punta Banda y se prolonga hasta la entrada del estero.

**METODOLOGIA**

**a) Colectas de muestras**

La figura 1 muestra la localización de

mentions that the littoral transport is from the south to the north.

Baca (1981) states that in the south west of the bay the sediments are distributed in the direction of the current towards the north; the coarsests are deposited in Punta Banda and the finest in the protected area of the estuary's sand bar.

**DESCRIPTION OF THE STUDY AREA**

Todos Santos Bay is located 100 km south of the Mexico-USA border on the west coast of the Baja California Península, between 31°40'–31°56'N and 116°50'W; it has a surface area of 24,000 hectares in a trapezoidal form, and it is 18 km long and 15 km wide (Fig. 1).

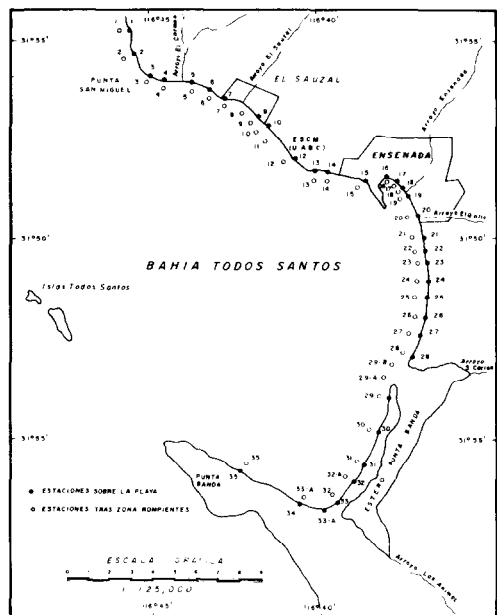


FIGURE 1. Location of study area and sampling stations.

FIGURA 1. Localización del área de estudio y estaciones de muestreo

The form of the bay and the physiographic characteristics of the coast allow us to differentiate three zones:

**North zone.** From Punta San Miguel to the El Vigía hill, characterized by sandy beaches with coarse sediments and cliffs.

las estaciones; se tomaron un total de 72 muestras de las cuales 35 corresponden a la zona de la playa y 37 al área localizada atrás de la zona de rompiente. Las muestras de playa se colectaron en octubre de 1981 con un nucleador de mano sobre la cara de la playa; las muestras de la zona de rompiente se tomaron en el mismo mes por medio de una draga del tipo Dietz-La Fond. Todas las muestras se etiquetaron y se colocaron en bolsas de plástico herméticas.

#### b) Pretratamiento

El pretratamiento de las muestras (eliminación de materia orgánica y sales) se llevó a cabo de acuerdo a Royse (1970) y Carver (1976), el cual consiste esencialmente de eliminación de la materia orgánica presente en la muestra, por medio de peróxido de hidrógeno.

#### c) Tamizado

Se usó un cuarteador mecánico hasta obtener una muestra de 50 g (Carver, 1976) y se procedió a la separación mecánica de las fracciones de diferentes tamaños en la escala phi ( $\phi$ ) (Krumbein, 1934). La serie de tamices (U.S. standard) que se utilizó para la separación, comprende los tamaños entre  $-2.5$  y  $4.75 \phi$ , y mayores de  $4.75 \phi$  con intervalos de  $0.25 \phi$ .

#### d) Obtención de parámetros texturales

Los datos del tamizado se procesaron con ayuda de una computadora PRIME 400, obteniendo los parámetros estadísticos por el método de momentos. Se graficaron los valores de media ( $m$ ) y coeficiente de dispersión ( $D$ ) conforme los criterios de Sunamura y Horikawa (1971) y se construyeron las matrices de tendencia de tamaño de grano con los valores de media ( $m$ ), coeficiente de dispersión ( $D$ ) y asimetría ( $A$ ), de acuerdo a lo descrito por McLaren (1981).

En base a lo anterior primeramente se emplearon los criterios de Sunamura y Horikawa (1971). A grandes rasgos estos criterios señalan que la dirección del transporte litoral puede obtenerse usando las variacio-

**Central zone.** From the Port of Ensenada to the mouth of the Estero de Punta Banda; it consists of a wide sandy beach.

**South zone.** From the mouth of the estuary towards the base of Punta Banda; it consists of a sandy bar that originates at the foot of Punta Banda and goes on towards the entrance of the estuary.

### METODOLOGY

#### a) Collection of samples

Figure 1 shows the sites of the stations; a total of 72 samples were taken from which 35 correspond to the beach area and 37 to the area behind the surf zone. The beach's samples were taken in October 1981 with a hand core sample on the face of the beach; the samples of the surf area were taken in the same month with a Dietz-La Fond dredge. All the samples were labeled and placed in hermetic plastic bags.

#### b) Pretreatment

Pretreatment of the samples (elimination of organic matter and salts) was done following Royse's (1976), and it consists essentially in the elimination of the organic matter present in the sample using hydrogen peroxide.

#### c) Sieving

A mechanical separator was used obtaining a 50 g sample (Carver, 1976); we then proceeded to mechanically separate the fractions of different size in the phi ( $\phi$ ) scale (Krumbein, 1934). The series of sieves (U.S. standard) we used for the separations were of the sizes between  $-2.5$  and  $4.75 \phi$ , and greater than  $4.75 \phi$  with  $0.25 \phi$  intervals.

#### d) Textural parameters

The sieving data were processed in a PRIME 400 computer, and the statistical parameters were obtained by the momentum method. The values of the mean grain size ( $m$ ) and the dispersion coefficient ( $D$ ) were plotted following the criteria by Sunamura

nes en el tamaño y la dispersión del sedimento.

Posteriormente, las características de tamaño de grano fueron utilizadas de acuerdo a McLaren (1981), el cual menciona que los cambios relativos que pueden ocurrir en los parámetros estadísticos del sedimento entre el depósito y su fuente, son referidos como caso I, II y III (Fig. 2).

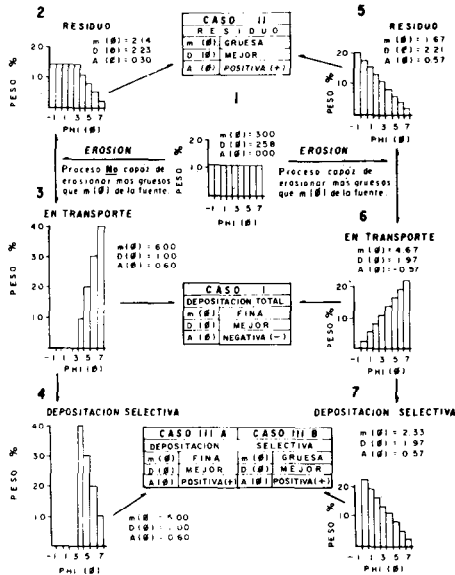


FIGURA 2. Tendencias en medidas de tamaño de grano. (Tomado de McLaren 1981).

FIGURE 2. Trends in grain size (From McLaren, 1981)

RESULTADOS

Las tablas 1 y 2 muestran los resultados estadísticos obtenidos a partir de la distribución de tamaño de sedimento de playa y mar respectivamente, mientras que las figuras 3 y 4 describen el comportamiento de los valores de media y dispersión con respecto a la distancia.

En general, tanto la Tabla I como la Figura 3 muestran que existe una tendencia de aumentar el tamaño de grano de la estación 1 a la 3, de la 13 a la 15 y de la 24 a la 28, mientras que disminuye de la 3 a la 13,

and Horikawa (1971) and the grain size trends were constructed with the mean grain size values (m), dispersión coefficient (D) and skewness (A) following McLaren (1981).

With those values we first used the criteria by Sunamura and Horikawa (1971). These criteria point out that the direction of the littoral transport can be obtained using the size variations and the sediment dispersion.

Subsequently, the grain size characteristics were used following McLaren (1981). He mentions that the relative changes that can occur, either in the statistical parameters of the sediment or between the deposit and its source, are referred to as cases I, II, and III (Fig. 2).

RESULTS

Tables I and II show the statistical results obtained from the size distribution of beach and sea sediment respectively; figures 3 and 4 describe the behavior of the mean grain size and dispersion values with respect to the distance.

Generally, Table I and Figure 3 show that there is a trend for the grain size to increase from station 1 to 3, from station 13 to 15 and from station 24 to 28 while it decreases from station 3 to 13, from station 15 to 24 and from station 28 to 32. In the case of the dispersion values there is a trend to increase from stations 21 to 27 without showing a defined behavior in the remaining stations. As for the skewness values, only in the southern part of the bay can the dominance of negative values be appreciated.

Table II and figure 4 show in a general way that there is a trend of an increase in the grain size of stations 4 to 7, 17 to 21, 23 to 29A and 32 to 35 while it tends to decrease from stations 11 to 15, 29A to 32. The dispersion values tend to increase from station 23 to 26 and to decrease from station 26 to 32A. As for the skewness values the greatest amount of negative values are in the northern zone of the bay.

TABLA I. Resultados estadísticos de la zona de playa

TABLE I. Statistics results of the beach zone.

Estación	Dist. en Km.	Media	Dispersión	Asimetría
P1	00.00	2.526	0.291	0.067
P2	01.650	0.812	0.911	0.046
P3	03.400	-0.363	0.598	0.297
P4	04.200	-0.196	1.125	0.362
P5	05.400	1.962	0.462	1.037
P6	06.600	2.338	0.542	-1.808
P7	07.250	2.284	0.433	-0.499
P9	09.000	2.313	0.332	-0.350
P10	09.750	2.054	0.853	-2.491
P12	11.350	2.535	0.376	0.447
P13	12.900	2.782	0.253	-0.168
P14	13.640	2.462	0.406	0.167
P15	15.440	1.178	1.387	-0.683
P16	17.565	1.744	0.621	-0.580
P17A	17.865	2.317	0.908	-0.902
P17B	17.975	2.923	0.364	0.483
P18	18.555	2.930	0.264	0.143
P19	19.195	2.292	0.333	1.705
P20	19.645	2.729	0.421	-1.224
P21	20.125	2.777	0.367	0.401
P22	20.645	2.666	0.357	-1.125
P23	21.195	2.823	0.384	1.031
P24	22.095	2.894	0.407	0.671
P25	22.805	2.776	0.400	0.709
P26	23.605	2.689	0.410	0.690
P27	24.555	2.688	0.448	-0.848
P28	25.755	2.357	0.359	-0.206
P29	28.185	2.609	0.431	-0.765
P30	29.555	3.134	0.306	1.203
P31	31.255	3.011	0.355	-0.315
P32	32.625	3.145	0.325	0.583
P33	34.225	2.202	1.265	-0.677
P33A	34.625	3.164	0.408	-1.401
P34	34.915	1.070	0.333	2.581
P35	37.715	1.364	0.508	-0.733

TABLE II. Statistics results of the surf zone.

TABLE II. Resultados estadísticos de la zona de rompiente.

Estación	Dist. en Km.	Media	Dispersión	Asimetría
M1	00.000	1.560	0.337	-0.004
M2	01.551	2.547	0.604	-1.779
M3	03.586	0.037	2.057	0.273
M4	04.413	3.127	0.523	0.261
M5	05.741	2.896	0.508	0.410
M6	06.706	2.895	0.551	-0.065
M7	07.292	2.104	0.533	0.297
M8	07.982	2.543	0.543	-0.542
M9	08.741	2.265	1.152	-0.682
M10	09.396	3.038	0.677	-1.376
M11	10.499	1.799	0.504	1.461
M12	12.051	2.599	0.668	-1.027
M13	12.396	2.488	0.695	-1.506
M14	12.913	2.641	0.561	-1.620
M15	14.430	3.101	0.459	-0.945
M16	17.257	3.327	0.647	-0.132
M17	17.552	2.939	0.435	0.661
M18	18.218	2.882	0.431	0.525
M19	18.708	2.910	0.507	0.531
M20	19.198	2.802	0.415	-0.381
M21	19.688	2.707	0.448	-1.355
M22	20.316	2.976	0.440	0.167
M23	20.936	3.503	0.330	-0.515
M24	21.971	2.942	0.385	0.552
M25	22.574	2.914	0.424	0.585
M26	23.333	2.978	0.555	1.334
M27	24.333	3.007	0.578	0.915
M28	25.367	2.861	0.408	0.636
M29	27.919	3.096	0.347	-0.201
M29A	26.643	2.724	0.426	-0.365
M29B	26.057	2.758	0.404	0.607
M30	29.212	3.317	0.432	1.051
M31	30.798	3.383	0.364	-0.161
M32A	31.953	3.542	0.309	0.097
M32	33.298	3.445	0.327	0.360
M33	34.298	2.278	0.815	0.830
M35	37.000	1.963	0.734	0.184

de la 15 a la 24 y de la 28 a la 32. Para el caso de los valores de dispersión hay una tendencia a aumentar de la 21 a la 27 sin presentar comportamiento definido en las demás estaciones. En cuanto a los valores de asimetría, solamente en la parte sur de la bahía se aprecia la dominancia de valores negativos.

La Tabla II y la Figura 4 muestran en forma general que existe tendencia al aumento de tamaño de grano de las estaciones 4 a 7, 17 a 21, 23 a 29A y de 32 a 35 mientras que tienden a disminuir de la 11 a 15, de 29A a 32. Los valores de dispersión tienden a aumentar de la 23 a 26 y a disminuir de 26 a 32A. En lo referente a los valores de asimetría la mayor cantidad de valores negativos se presentan en la zona norte de la bahía.

## DISCUSSION

The answer of the sediments to the mechanics of a fluid transport agent in movement is reflected in the way material settles, the particles of greater size present a greater resistance to transport and so they will tend to travel a shorter distance than those of a smaller size; this can be described in terms of dispersion or sorting. In that way, the sediments distribution will decrease its size and will improve its sorting with respect to the distance and transport intensity (Sunamura and Horikawa, 1971). McLaren (1981) mentions that the mean grain size, skewness, and sorting of a sedimentary deposit depends on the size distribution from its source and on the process that has taken place on the sediment, and that the changes in size distribution follow easily identifiable trends.

TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN TODOS SANTOS

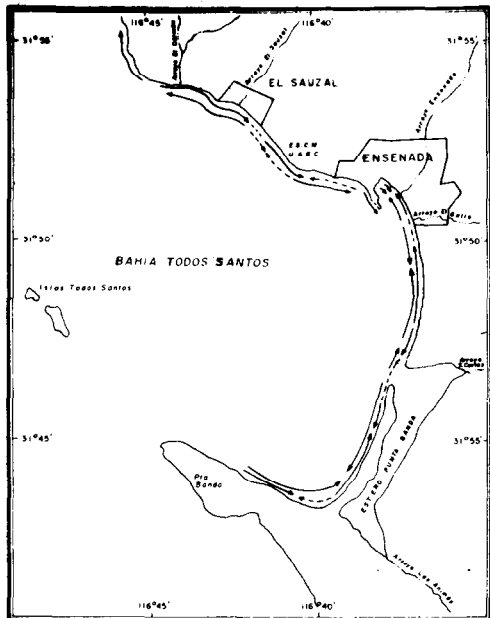


FIGURA 5. Sentido del transporte litoral en base a los criterios de Sumamura y Horikawa (1971).  
 FIGURE 5. Direction of the littoral transport based in the criteria by Sunamura and Horikawa (1971).

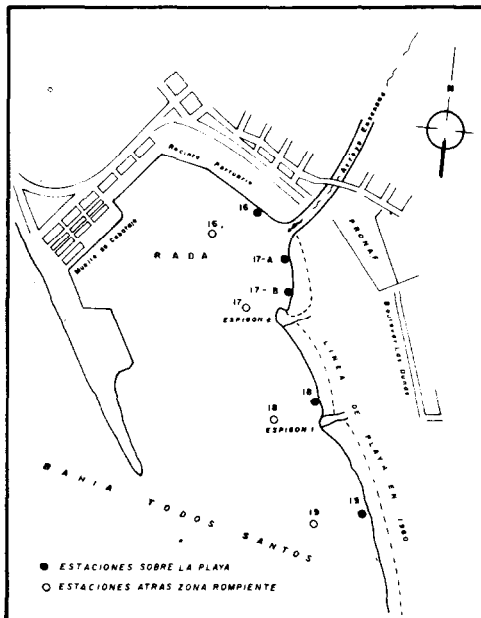


FIGURE 6. Location of the sampling stations inside the port.  
 FIGURA 6. Localización de estaciones muestreadas dentro de la rada portuaria.

TABLA III. Matriz de tendencia de relaciones de tamaño de grano para la zona central de la Bahía de Todos Santos (muestra de playa).

TABLE III. Relationships of the grain size trend matrix for the central zone of Todos Santos Bay (beach samples).

		DEPOSITO									
		P3	P4	P5	P6	P7	P9	P10	P12	P13	P14
Fuente	P3		GP+	FM+	FM-	FM-	FM-	FP-	FM+	FM-	FM-
	P4	FM-		FM+	FM-	FM-	FM-	FM-	FM+	FM-	FM-
	P5	GP-	GP-		FP-	FM-	FM-	FP-	FM-	FM-	FM-
	P6	GP+	GP+	GM+		FM+	-M+	GP-	FM+	FM+	FM+
	P7	GP+	GP+	PG+	FP-		FM+	GP-	FM+	FM+	FM+
	P9	GP+	GP+	GP+	-P-	GP-		GP-	FM+	FM+	FP+
	P10	GM+	GP+	GM+	FM+	FM+	FM+		FM+	FM+	FM+
	P12	GP-	GP-	GP+	GP-	GP-	GP-	GP-		FM-	GP-
	P13	GP+	GP+	GP+	GP-	GP-	GP-	GP-	GP+		GP+
	P14	GP+	GP+	GP+	GP-	GP-	GM-	GP-	FM+	FM-	



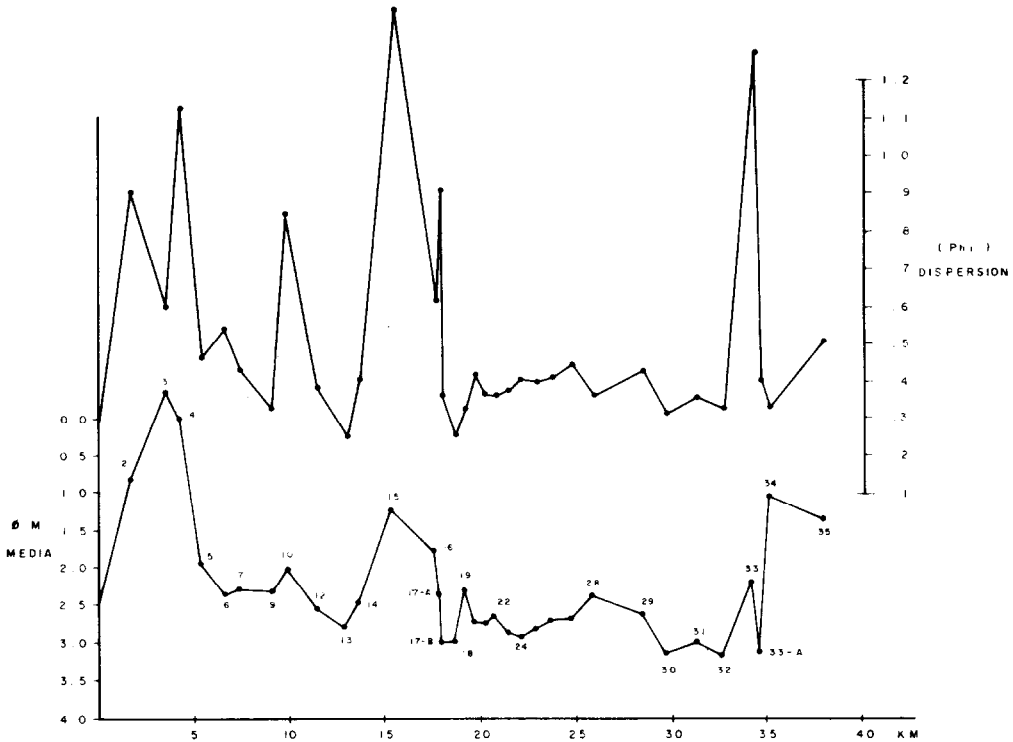


FIGURA 3. Valores de media y dispersión con respecto a la distancia para las estaciones localizadas en la playa.  
 FIGURE 3. Mean and dispersion values with respect to the distance for the beach stations.

**DISCUSIONES**

La respuesta de los sedimentos a la mecánica de un agente de transporte fluido en movimiento, se refleja en la forma de asentamiento del material. Aquellas partículas de mayor tamaño presentarán mayor resistencia al transporte y por lo tanto tenderán a viajar a menor distancia que las que presentan un tamaño menor; lo anterior se puede describir en términos de dispersión o clasificación. Es así que la distribución de sedimentos disminuirá su tamaño y mejorará su clasificación con respecto a la distancia e intensidad del transporte (Sunamura y Horikawa, 1971). McLaren (1981) menciona que la media, asimetría y clasificación de un depósito sedimentario son dependientes de la distribución de tamaño de su fuente y del proceso que se ha efectuado sobre el sedi-

**Dispersion-mean grain size criterion**

The transport direction will only be defined from north or south whenever any one of these components is present.

The results in figures 3 and 4 show great size variations and dispersion from stations 1 to 15 (Fig. 1). The high values on station 15 are due to the contribution from the enlargement of the breakwater in the port of Ensenada.

Littoral transport is accomplished in two directions. The first one from north to south, from stations 9 to 11, 13 to 15 and 29A to 32A in the surf zone and stations 4 to 9, 10 to 13 and 29 to 30 on the beach zone (Figs. 3 and 4); in the first case we can see a decrease in size without being able to

## TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN TODOS SANTOS

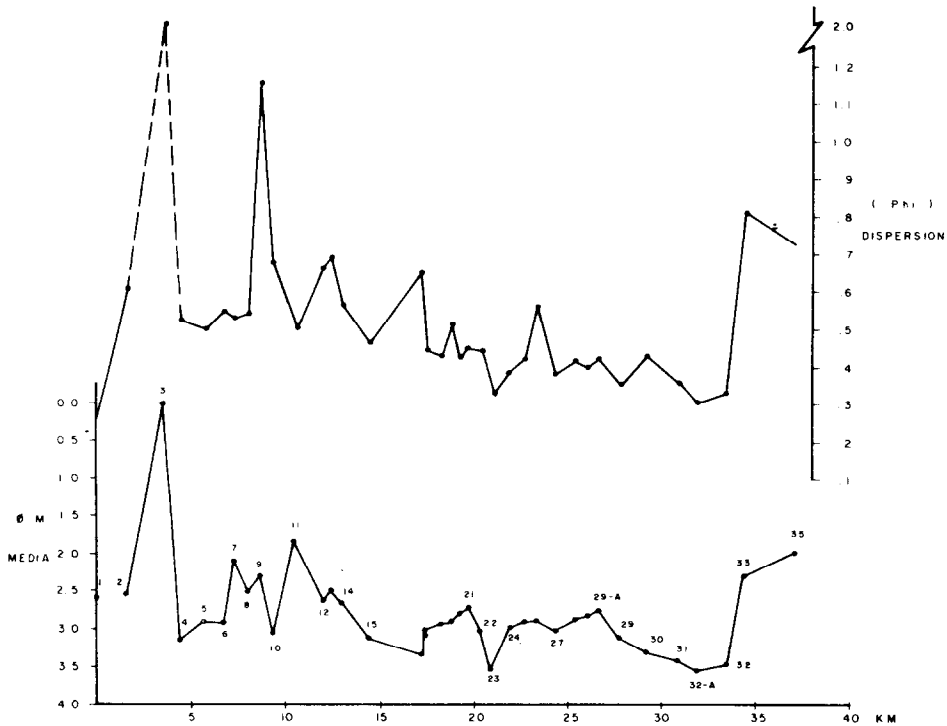


FIGURA 4. Valores de media y dispersión con respecto a la distancia para las estaciones localizadas fuera de la zona de rompiente

FIGURE 4. Mean and dispersion values with respect to the distance for the surf area stations.

mento y que los cambios en la distribución de tamaños siguen tendencias fácilmente identificables.

### Criterio Dispersión-Media

Para efectos de redacción, el sentido del transporte se definirá solamente en direcciones Norte o Sur, cuando cualquiera de estas componentes esté presente.

Los resultados obtenidos que se observan en las figuras 3 y 4 muestran grandes variaciones de tamaño y dispersión de las estaciones 1 a la 15 (Fig. 1). Los valores altos en la estación 15 se deben al aporte recibido del producto de la construcción de la ampliación del rompeolas del puerto de Ensenada.

define the trend in the dispersion values, while for the other cases there is a decrease in size and in the dispersion value in this direction.

The other direction from south to north is seen from stations 10 to 9, 14 to 13, 20 to 18, 27 to 25, 24 to 22, 31 to 30, and from 33 to 32, in the beach zone, while in the surf zone it is recorded in stations 3 to 1, 6 to 5, 19 to 18, 26 to 23, and 35 to 32. In most of them a decrease in size and dispersion values in the same direction is observed. This reflects a great complexity of the system and it is not possible to obtain a reliable pattern in the northwest portion of the bay. This is confirmed in the study by Alvarez (1971) on surface currents in this zone of the bay. The configuration of the coast, formed mainly by cliffs and pocket

El transporte litoral se realiza en dos sentidos. El primero de Norte a Sur, de las estaciones 9 a 11, 13 a 15 y 29A a 32A en la zona de rompiente y 4 a 9, 10 a 13 y 29 a 30 en la zona de playa (Figs. 3 y 4). Se observa en el primer caso una disminución de tamaño sin poderse definir la tendencia en los valores de dispersión, mientras que para los demás casos existe una disminución de tamaño y del valor de la dispersión en esta dirección.

El otro sentido, de Sur a Norte, se observa de las estaciones 10 a 9, 14 a 13, 20 a 18, 27 a 25, 24 a 22, 31 a 30 y de 33 a 32, en la zona de playa, mientras que en la zona de rompiente se registra en las estaciones de 3 a 1, 6 a 5, 19 a 18, 26 a 23 y 35 a 32. En la mayoría se observa una disminución de tamaño y del valor de la dispersión en el mismo sentido. Lo anterior refleja una gran complejidad del sistema, no pudiéndose obtener un patrón confiable en la porción NO de la bahía en lo que se confirma en el estudio realizado por Alvarez (1971) sobre corrientes superficiales en esta zona de la bahía. La configuración de la costa, mayormente compuesta de cantiles y playas de bolsillo, junto con el oleaje, parecen ser algunos de los factores responsables de esta complejidad.

Los resultados de las estaciones 19 a 18, localizadas detrás de la rompiente dentro de la rada portuaria (Fig. 1), indican una dirección del transporte litoral en sentido Norte (Fig. 5), ya que los valores de tamaño decrecen en este sentido, y los valores de dispersión aumentan. Lo anterior se estima en base a que la estación 29 está expuesta a una mayor energía que la estación 18, dando como resultado que los sedimentos tengan una mejor clasificación hacia la estación 18. Por otro lado, los resultados de las estaciones localizadas en la playa indican una dirección Norte proveniente de la estación 26 al espigón 2. Estos resultados corroboran los obtenidos por Gómez-Morín (1981) en la zona de la rada portuaria, quien menciona que esta zona ha presentado una azolve progresivo debido al sistema de circulación provocado por la difracción del oleaje causado por el rompeolas. Otra evidencia más notoria de la circulación hacia el Norte en

beaches, and the wave action, seem to be some of the factors responsible for this complexity.

The results of stations 19 to 18 behind the surf zone inside the port (Fig. 1), indicate a direction to the north of the littoral transport (Fig. 5) for the size values decrease in this direction and the dispersion values increase; this is estimated because station 29 is exposed to a higher energy than station 18, resulting in the sediments having a better sorting towards station 18. On the other hand, the results of stations on the beach indicate a direction North coming from station 26 to breakwater 2. These results corroborate those obtained by Gómez-Morín (1981) in the zone of the port, who mentions that there is increased sludge obstructing water flow in this zone because of wave diffraction by the breakwater. Another more obvious evidence of the circulation towards the north in this zone, is the advance of the beach line as a product of the trap offered by breakwaters 1 and 2 (Fig. 6).

In the central zone of the bay, where the beach as well as the surf stations are located, the decrease in size and dispersion values indicate a littoral transport towards the north (Fig. 5). This coincides with a study of littoral transport done on the beaches of this zone by Lizárraga (1976).

Station 27 shows the highest dispersion values between station 18 and 32 on the beach stations as well as on the surf ones, which suggests that the littoral transport distributes towards the north (as previously described) and towards the south, decreasing the dispersion values and the size up to station 32 of surf zone and station 30 of the beach zone. It seems the tide fluxes of the mouth of the estuary do not allow deposition of fine material, which is reflected on the coarser sizes of stations 28 to 29.

#### **Description of the relationship of the grain size trend matrix.**

Based on the criteria mentioned before, Tables III, IV, V, VI, VII, and VIII

TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN TODOS SANTOS

TABLA IV. Matriz de tendencia de relaciones de tamaño de grano para la zona norte de la Bahía de Todos Santos (muestras de mar).

TABLE IV. Relationships of the grain size trend matrix for the northern zone of Todos Santos Bay (sea samples).

D E P O S I T O

	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14
M3		FM-	FM+	FM-	FM+	FM-	FM-	FM-	FM+	FM-	FM-	FM-
M4	GP+		FM-	GP-	GP+	GP-	GP-	GM-	GM+	GM-	GM-	GM-
M5	GP-	FP+		=P-	GP-	GP-	GP-	FP-	G→+	GP-	GP-	GP-
M6	GP+	FM+	FM+		FM+	GM-	GP-	FP-	GM+	GP-	GP-	GP-
M7	GP-	FM-	FM+	FP-		FP-	FP-	FP-	FM+	FP-	FP-	FP-
M8	GP+	FM+	FM+	FP+	FM+		GP-	FP-	GM+	FP-	GP-	FP-
M9	GP+	FM+	FM+	FM+	GM+	FM+		FM-	FM+	FM-	FM-	FM-
M10	GP+	FP+	GM+	GM+	GM+	GM+	GP+		GM+	GM+	GP-	GM-
M11	GP-	FP-	F→-	FP-	FP-	FP-	FP-	FP-		FP-	FP-	FP-
M12	GP+	FP+	FM+	FM+	GM+	GM+	GP+	FP-	GM+		GP-	FM-
M13	GP+	FP+	FM+	FM+	GM+	GM+	GP+	FM+	GM+	FM+		FM-
M14	GP+	FP+	FM+	FM+	GM+	GM+	GP+	FP+	GM+	GP+	GP+	

TABLA V. Matriz de tendencia de relaciones de tamaño de grano para la zona central de la Bahía de Todos Santos (muestras de playa).

TABLE V. Relationships of the grain size trend matrix for the central zone of Todos Santos Bay (beach samples).

D E P O S I T O

	P15	P16	P16S	P17A	P17B	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28
P15		FM↓	FM+	FM-	FM↓	FM↓	FM↓	FM-	FM+	FM-	FM↓	FM↓	FM+	FM+	FM-	FM↓
P16	GP-		FM+	FP-	FM+	FM+	FM+	FM-	FM+	FM-	FM+	FM+	FM+	FM+	FM-	FM↓
P16S	GP-	GP-		GP-	FM+	FM+	GM+	FM-	FM+	FM-	FM+	FM+	FM+	FM+	FM-	GM-
P17A	GP+	GM+	FM+		FM+	FM+	GM+	FM-	FM+	FM-	FM+	FM+	FM+	FM+	FM+	FM+
P17B	GP-	GP-	GP-	GP-		FM-	FM+	GP-	GP-	GM-	GP+	GP+	GP+	GP+	GP-	GM-
P18	GP-	GP-	GP-	GP-	GP+		GP+	GP-	GP+	GP-	GP+	GP+	GP+	GP+	GP-	GP-
P19	GP-	GP-	FP-	FP-	FP-	FM-		FP-	FP-	FP-	FP-	FP-	FP-	FP-	FP-	FP-
P20	GP+	GP+	GP+	GP+	FM+	FM+	GM+		FM+	GM+	FM+	FM+	FM+	GM+	GP+	GM+
P21	GP-	GP-	GP-	GP-	FM+	FM-	GM+	GP-		GM-	FP+	FP+	GP+	GP+	GP-	GM-
P22	GP+	GP+	GP+	GP+	FP+	FM+	GM+	FP-	FP+		FP+	FP+	FP+	FP+	FP+	GP+
P23	GP-	GP-	GP-	GP-	FM-	FM-	GM+	GP-	GM-	GM-		FP-	GP-	FP-	GP-	GM-
P24	GP-	GP-	GP-	GP-	FM-	FM-	GM+	GP-	GM-	GM-	GM-		GM+	GP+	GP-	GM-
P25	GP-	GP-	GP-	GP-	FM-	FM-	GM+	GP-	FM-	FM-	FM-	FP-		GP-	GP-	GM-
P26	GP-	GP-	GP-	GP-	FM-	FM-	GM+	FP-	FM-	GM-	FM-	FM+	FM+		FP-	GM-
P27	GP↓	GP+	GP+	GP-	FM+	FM+	GM+	FM-	GM+	FM-	GM+	FM↓	FM+	FM+		GM+
P28	GP-	GP-	FP↓	GP-	GP+	FP+	FM+	GM-	FP+	FP-	GM-	FP+	FP+	FP+	FP-	

esta zona, es el avance de la línea de playa producto de la trampa que ofrecen los espigones 1 y 2 (Fig. 6).

En la zona central de la bahía, donde se localizan las estaciones tanto de la zona de playa como de rompiente, la disminución de tamaño y de los valores de dispersión indica un transporte litoral hacia el Norte (Fig. 5). Lo anterior coincide con un estudio de transporte litoral realizado en las playas de esta zona por Lizárraga (1976).

were done where the relationship of the grain size trend is shown for the north, central and south zones of the study area for the beach and sea samples. (McLaren, 1981).

In the trend matrix each of the samples is taken as a possible sediment source for all the others, the characteristics of the grain size are given in order: mean grain size, dispersion and skewness (m, D, A). The letters F and G correspond to the mean grain size (m) of the sediment; we use F if when

TABLA VI. Matriz de tendencia de relaciones de tamaño de grano para la zona central de la Bahía de Todos Santos (muestra de mar).

TABLE VI. Relationships of the grain size trend matrix in the central zone of Todos Santos Bay (sea samples).

D E P O S I T O

	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28
M15		FP+	GM+	GM+	GP+	GM+	GM-	GM+	FM+	GM+	GM+	GP+	FP+	GM+
M16	GM-		GP+	GM+	GM+	GM-	GM-	GM+	FM-	GM+	GM+	GM+	FM+	GM+
M17	FP-	FM-		GM-	GP-	GM-	GP-	F-	FM-	FM-	GM-	FP+	FP+	FM-
M18	FP-	FP-	FP+		FP+	GM-	GP-	FP+	FM-	FM-	FM+	FP+	FP+	GM+
M19	FM-	FP-	FM+	GM-		GM-	GM-	FM-	FM-	FM+	FM+	FP+	FP+	GM+
M20	FP-	FP+	FP+	FP+	FP+		GP-	FP+	FM-	FM+	FM+	FP+	FP+	FM+
M21	FP+	FP+	FM+	FM+	FP+	FM+		FM+	FM+	FM+	FM+	FP+	FP+	FM+
M22	FP-	FP-	G+	GM-	GP+	GM-	GP-		FM-	GM+	GM+	=P+	FP+	GM+
M23	GP-	GP+	GP+	GP+	GP+	GP-	GP+	GP+		GP+	GP+	GP+	GP+	GP+
M24	FP-	FP-	GP+	GP-	FP-	GP-	GP-	FP-	FM-		GP+	FP+	FP+	GP+
M25	FP-	FP-	GP+	GP-	GP-	GM-	GP-	FP-	FM-	FM-		FP+	FP+	GM+
M26	FM-	FP-	GM+	GM+	GM-	GM-	GM-	=M-	FM-	GM-	GM-		FP-	GM-
M27	GM-	GP-	GM-	GM+	GM-	GM-	GM-	GM-	FM-	GP-	GM-	GM+		GM-
M28	FP-	FP-	GP+	FP-	FP-	GP-	GP-	FP-	FM-	FM-	FP-	FP+	FP+	

TABLA VII. Matriz de tendencia de relaciones de tamaño de grano para la zona sur de la Bahía Todos Santos (muestra de playa).

TABLE VII. Relationships of the grain size trend matrix for the southern zone of Todos Santos Bay (beach samples).

D E P O S I T O

	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P33A	P34	P35
P28		FP-	FM+	FM-	FM+	GP-	FP-	FM+	GP-
P29	GM+		FM+	FM+	FM+	GP+	FM-	FM+	GP+
P30	GP-	GP-		GP-	FP-	GP-	FP-	GP+	GP-
P31	GP+	GP-	FM+		GM+	FP-	GP-	FM+	FP-
P32	GP-	GP-	GM+	FP-		GP-	FP-	GP+	GP-
P33	FM+	FM-	FM+	GM+	FM+		FM-	GM+	GM-
P33A	GM+	GP+	GM+	FM+	GM+	GP+		GM+	GP+
P34	FP-	FP-	FM-	GP-	FM-	FP-	FP-		GP-
P35	FM+	FM-	FM+	GM+	FM+	FP+	FM-	FM+	

La estación 27 muestra los valores más altos de dispersión, comprendida entre las estaciones 18 y 32 tanto en las estaciones de playa como las de rompientes, lo cual sugiere que el transporte litoral se distribuye hacia el Norte (como se describió anteriormente) y hacia el Sur. Los valores de dispersión y el tamaño disminuyen hasta la estación 32 de la zona de rompiente y 30 de la zona de playa. Al parecer, los flujos de marea de la boca del estero no permiten depositación de material fino, lo cual se refleja en los tamaños más gruesos de las estaciones 28 a 29.

comparing with the possible deposit this turns out to be finer than the assumed source, and G if the mean grain size of the deposit is coarser than the mean grain size of the assumed source. Letter M and P correspond to the sorting degree (D) of the sediment. We use M if when comparing the assumed source with the possible deposits, these are better sorted than the source; and letter P if the deposit has a poorer (worse) sorting than the source. Signs + and - indicate whether the skewness degree is more positive (+) or more negative (-) than the assumed source.

### Descripción de las matrices de tendencia de relaciones de tamaño de grano.

En base a los criterios mencionados anteriormente se elaboraron las Tablas III, IV, V, VI, VII y VIII, donde se muestra la matriz de tendencia de relación de tamaño de grano para la zona norte, central y sur de la zona de estudio para las muestras de playa y mar. La elaboración e interpretación de las matrices de tendencia son descritas por McLaren (1981).

En la matriz de tendencia se toma cada una de las muestras como fuente posible de sedimentos de todas las demás; las características del tamaño de grano están dadas en orden: media, dispersión y asimetría (m, D, A). Las letras F y G corresponden a la media (m) del sedimento; se denota como F si al comparar con el posible depósito resulta ser más fino que la fuente asumida, y se utiliza la letra G si la media del depósito es más gruesa que la media de la fuente asumida.

Las letras M y P corresponden al grado de clasificación (D) del sedimento. La letra M resulta si al comparar la fuente asumida con los posibles depósitos, estos son mejor clasificados que la fuente; y la letra P se usa si el depósito tiene una clasificación más pobre (peor) que la fuente. Los signos + y - indican que el grado de asimetría del depósito es más positiva (+) o más negativa (-) que la fuente asumida.

Las figuras 7, 8, 9, 10, 11 y 12, donde se muestran las trayectorias posibles del sedimento (indicadas por puntas de flecha), son el resultado de la interpretación de las matrices de tendencia de relaciones de tamaño de grano (Tablas III, IV, V, VI, VII, VIII). Cada una de las matrices de tendencia representa un resumen de las trayectorias posibles. Tomando como ejemplo la Tabla III, ésta sugiere lo siguiente:

La muestra P3 es fuente posible de P5 y P12 (caso IIIA) y de las muestras P6, P7, P9, P13, y P14 (caso I). La relación con las otras muestras no es posible de interpretar.

Figures 7, 8, 9, 10, 11 and 12 are the result of the interpretation of the relationship of the grain size trend (Tables III, IV, V, VI, VII and VIII), where the possible sediment trajectories indicated by arrow heads are shown. Each of the trend matrix represent a summary of the possible trajectories. Taking Table III as an example, this suggest that:

Sample P3 is a possible source for P5 and P12 (case IIIA) and of samples P6, P7, P9, P13 and P14 (case I). It is not possible to interpret its relationship with other samples.

Sample P4 is a possible source of P5 and P12 (case IIIA) and of P3, P6, P7, P9, P10, P13 and P14 (case I).

Sample P5 is a possible source of P7, P9, P12, P13, and P14 (case I).

Sample P6 is a possible source of P5 and P7 (case IIIB) and of P12, P13 and P14 (case IIIA).

Sample P7 is a possible source of P9, P12, P13 and P14 (case IIIA).

Sample P9 is a possible source of P12 and P13 (case IIIA).

Sample P10 is a possible source of P3, P5 (case IIIB) and P6, P7, P9, P12, P13 and P14 (case IIIA).

Sample P12 is a possible source of P13 (case IIIA).

Sample P13 does not show any relationship and sample P14 can only be a possible source of P12 (case IIIA) and P13 (case I).

### Mean grain size-Dispersion-Skewness criterion

Tables III and IV and Figures 7 and 8 show the possible sediment trajectories for the northern region of the bay. The great majority of the samples indicate a trend to a sediment supply of the southern part of the zone.

For the beach samples it is difficult to

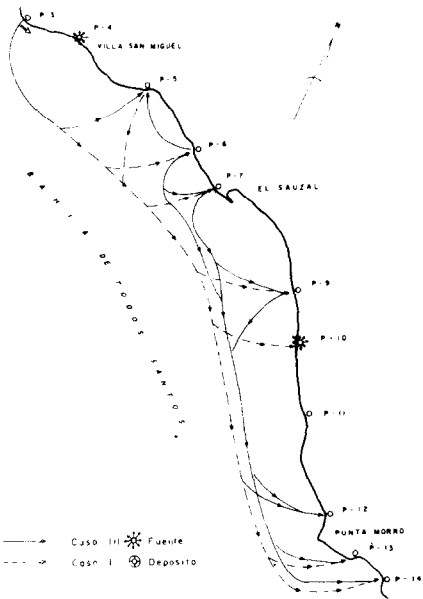


FIGURA 7. Posibles trayectorias del sedimento para las muestras de playa en la parte norte de la bahía.

FIGURE 7. Possible trajectories of the sediment for the beach stations in the northern part of the bay.

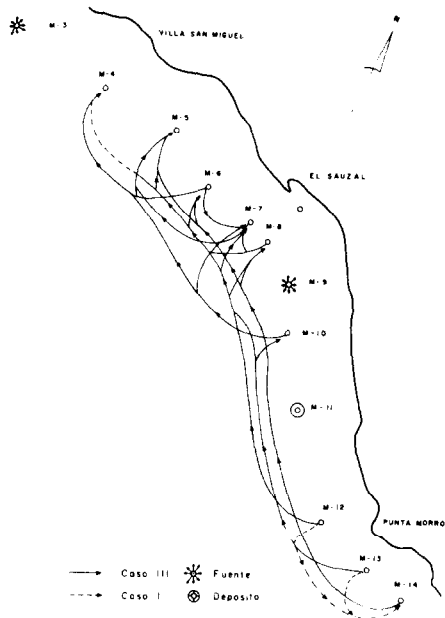


FIGURE 8. Possible trajectories of the sediment for the surf zone samples in the northern part of the bay.

FIGURA 8. Posibles trayectorias del sedimento para las muestras de fuera de la zona de rompiente en la parte norte de la bahía.

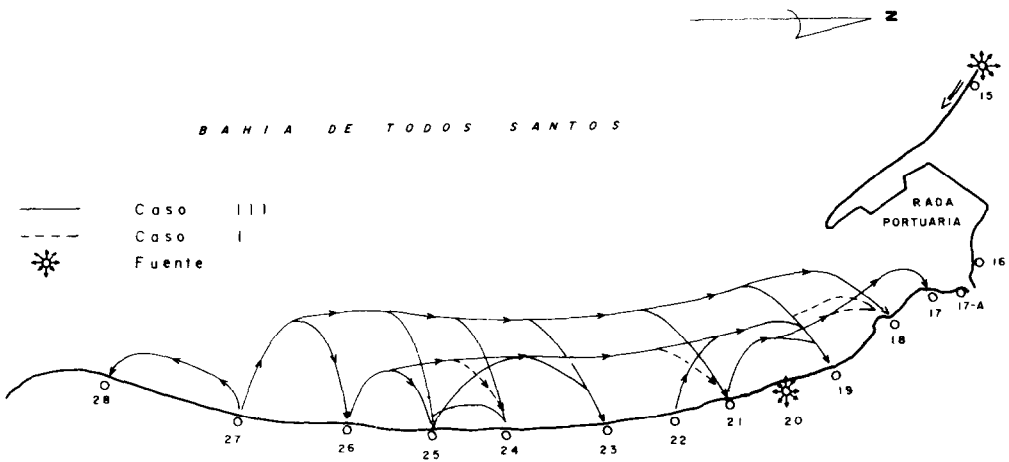


FIGURA 9. Posibles trayectorias para los sedimentos de playa en la parte central de la bahía.

FIGURE 9. Possible trajectories for the beach sediments in the central part of the bay.

## TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN TODOS SANTOS

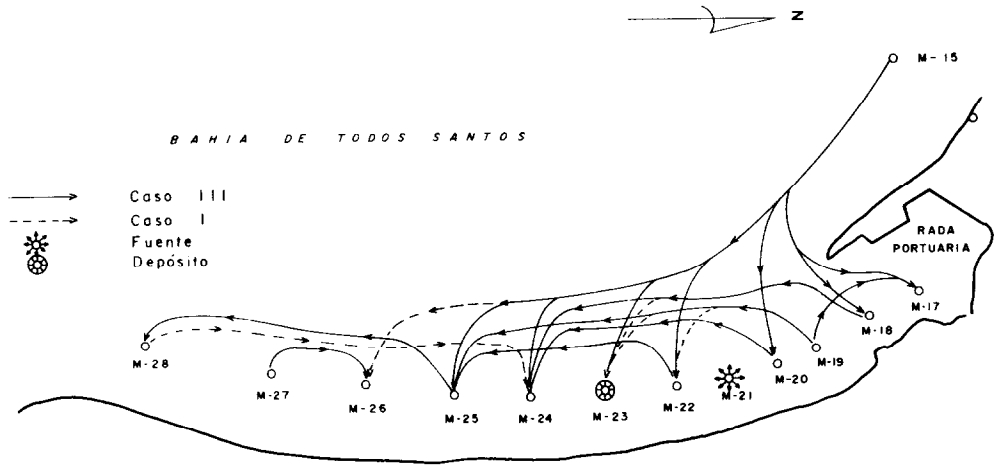


FIGURA 10. Posibles trayectorias del sedimento, para las muestras de fuera de la zona de rompiente, en la parte central de la bahía.

FIGURE 10. Possible trajectories of the sediment for the surf zone samples in the central part of the bay.

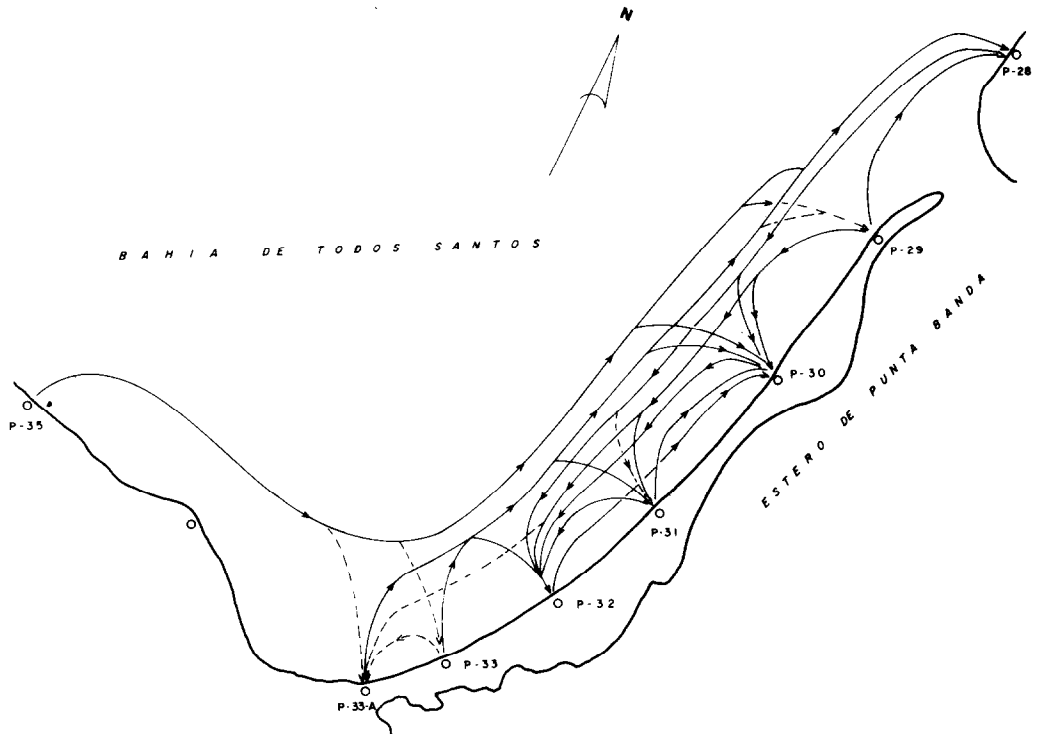


FIGURA 11. Posibles trayectorias del sedimento para las muestras de playa, en la parte sur de la bahía.

FIGURE 11. Possible trajectories of the sediment for the beach samples in the southern part of the bay.



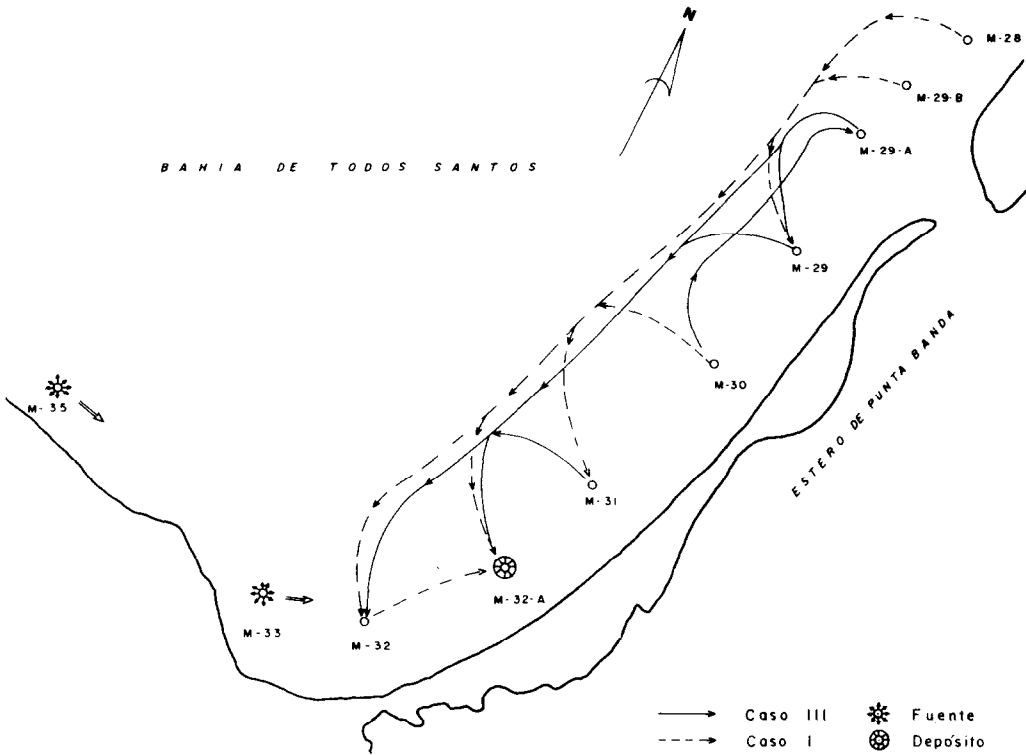


FIGURA 12. Posibles trayectorias del sedimento para las muestras de fuera de la zona de rompiente, en la parte sur de la bahía.

FIGURE 12. Possible trajectories of the sediment for the surf zone samples in the southern part of the bay.

La muestra P4 es fuente posible de P5 y P12 (caso IIIA) y de P3, P6, P7, P9, P10, P13, P14 (caso I).

La muestra P5 es fuente posible de P7, P9, P12, P13 y P14 (caso I).

La muestra P6 es fuente posible de P5 y P7 (caso IIIB) y de P12, P13 P14 (caso IIIA).

La muestra P7 es fuente posible de P9, P12, P13 y P14 (caso IIIA).

La muestra P9 es fuente posible de P12 y P13 (caso IIIA).

determine a trend in the sediment movement, for some stations as P4, P6, P10 and P14 are possible sediment sources for stations located both to the south and north of each one, however, the general trend indicates a dominant transport towards the south.

The sea samples do not show the same behavior as those on the beach; most of the stations can be sources of sediments located both to the south and to the north of every one of these; however, contrary to what is found on the beach stations, a transport to the north of the zone seems to dominate.

Figures 9 and 10 and Tables V and VI show the sediment trajectories for the cen-

La muestra P10 es fuente posible de P3, P5 (caso IIIB) y de P6, P7, P9, P12, P13 y P14 (caso IIIA).

La muestra P12 es fuente posible de P13 (caso IIIA).

La muestra P13 no presenta ninguna relación y la muestra P14 sólo puede ser fuente posible de P12 (caso IIIA) y P13 (caso I).

### **Criterio Media-Dispersión-Asimetría.**

Las tablas III y IV y las Figuras 7 y 8 muestran las trayectorias posibles del sedimento para la región norte de la bahía. La gran mayoría de las muestras indican una tendencia a suministrar sedimento hacia el sur de la zona.

Para la muestra de playa es difícil determinar una tendencia en el movimiento de los sedimentos, ya que algunas estaciones como P4, P6, P10, P14 son posibles fuentes de sedimentos para estaciones que están localizadas tanto al sur como al norte de cada una de ellas, sin embargo, la tendencia general es indicativa de un transporte dominante hacia el sur.

Las muestras de mar no denotan el mismo comportamiento que las muestras de playa; la mayoría de las estaciones pueden ser fuentes de sedimentos localizados tanto al sur como al norte de cada una de éstas; sin embargo, al contrario que en las estaciones de playa, parece dominar un transporte hacia el norte de la zona.

Las Figuras 9 y 10 y las Tablas V y VI presentan las trayectorias del sedimento para la zona central de la bahía. Las muestras de playa (Tabla IV, Fig. 8) indican una dirección dominante hacia la zona portuaria (norte) desde la estación P27 hasta la P17B. La estación P20 marca suministro hacia el Norte y hacia el Sur, irregularidad que puede ser explicada por la cercanía que presenta dicha estación con la desembocadura del Arroyo El Gallo. La estación 15 representa una zona de suministro para todas las demás estaciones sobre la playa e indica una cla-

tral zone of the bay. The beach samples (Tables IV, Fig. 8) indicate a dominant direction towards the port zone (north) from station P27 to station P17B. Station P20 marks the supply towards the north and towards the south. This irregularity can be explained for the nearness of this station with the outlet of the El Gallo creek. Station 15 represents a supply zone for the rest of the stations on the beach and indicates a clear direction of sediment transport toward the port zone and towards the south in general. Samples P27 and P28 show the possibility of supplying sediments both towards the north and south, but the existence of a sand bar north of the mouth of the Estero de Punta Banda presents a growth to the south, and this suggests that the littoral transport must be in this direction.

The sea samples (Fig. 10) do not present a transport direction as well defined as those of the beach. However, two directions can be noted: except for station M17, from station M15 to M22 the sediment transport is to the north having the zone between station M23 and M25 as a convergence zone.

The sediment trajectories for the north zone of the bay are represented on Tables VII and VIII and in Figures 11 and 12.

In general, the beach samples indicate a sediment transport direction towards the north giving way to the growth of the estuary's sand bar; however, stations P28 and P29, located on the mouth of the Estero de Punta Banda, are capable of proportioning sediments in a southern direction to station P33A, with the greater influence degree in station P32 and P30. This can be due to the strong currents originated by the tides in the mouth of the estuary.

Also in general, the sea samples, show the convergency, in the zone of stations M31 and M32, of a transport in a north direction from stations M28 and M29, and of a transport towards the south from stations M35 and M33.

Figures 13, 14 and 15, show in a simplified way the general behavior of the sed-

ra dirección de transporte de sedimento hacia la rada portuaria y hacia el Sur en general. Las muestras P27 y P28 denotan la posibilidad de suministrar sedimentos tanto en sentido Norte como Sur, pero la existencia de una barra arenosa al norte de la boca del Estero de Punta Banda presenta un crecimiento hacia el Sur, por lo que sugiere que el transporte litoral debe ser en este sentido.

Las muestras de mar (Fig. 10) no presentan un sentido de transporte tan definido como las de playa, sin embargo, pueden notarse dos sentidos; exceptuando la estación M17, desde la M15 hasta la M22 el transporte de sedimento es hacia el norte teniendo como zona de convergencia la comprendida entre las estaciones M23 y M25.

La trayectoria de los sedimentos para la zona norte de la bahía está representada en las Tablas VII y VIII en las Figuras 11 y 12.

iment movement in the bay attending to the two criteria used.

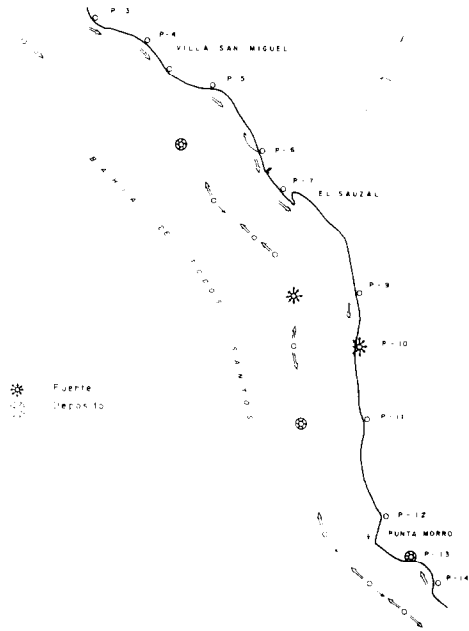


FIGURE 13. General behavior of the sediment movement in the northern zone of the bay.

FIGURA 13. Comportamiento general del movimiento de sedimento en la zona norte de la bahía.

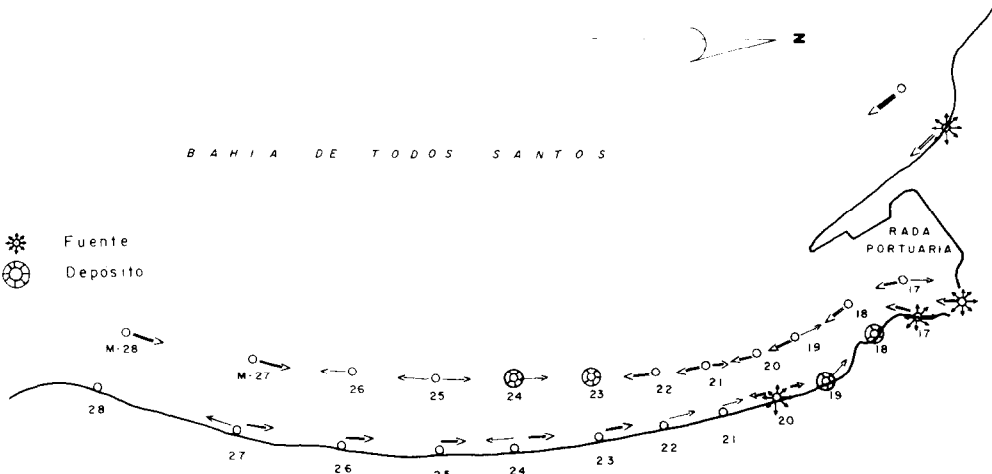


FIGURA 14. Comportamiento general del movimiento de sedimento en la zona central de la bahía.

FIGURE 14. General behavior of the sediment movement in the central zone of the bay.

TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN TODOS SANTOS

TABLA VIII. Matriz de tendencia de relaciones de tamaño de grano para la zona sur de la Bahía de Todos Santos (muestras de mar).

TABLE VIII. Relationships of the grain size trend matrix for the southern zone of Todos Santos Bay (sea samples).

DEPOSITO

	M28	M29	M29A	M29B	M30	M31	M32A	M32	M33	M35
M28		FM-	GP-	GM-	FP+	FM-	FM-	FM-	GP-	GP-
M29	GP+		GP-	GP+	FP+	FP+	FM+	FM+	GP-	GP+
M29A	FM+	FM+		FM+	FP+	FM+	FM+	FM+	GP-	GP+
M29B	FP+	FM-	GP-		FP+	FM-	FM-	FM-	GP-	GP-
M30	GM-	GM-	GM+	GM-		FM-	FM-	FM-	GP-	GP-
M31	GP+	GM-	GP-	GP+	GP+		FM+	FM+	GP-	GP+
M32A	GP+	GP-	GP-	GP+	GP+	GP-		GP+	GP-	GP+
M32	GP+	GP-	GP-	GP+	GP+	GP-	FM-		GP-	GP-
M33	FM+	FM-	FM+	FM+	FM+	FM+	FM+	FM+		GM+
M35	FM+	FM-	FM-	FM+	FM+	FM-	FM-	FM+	FP-	

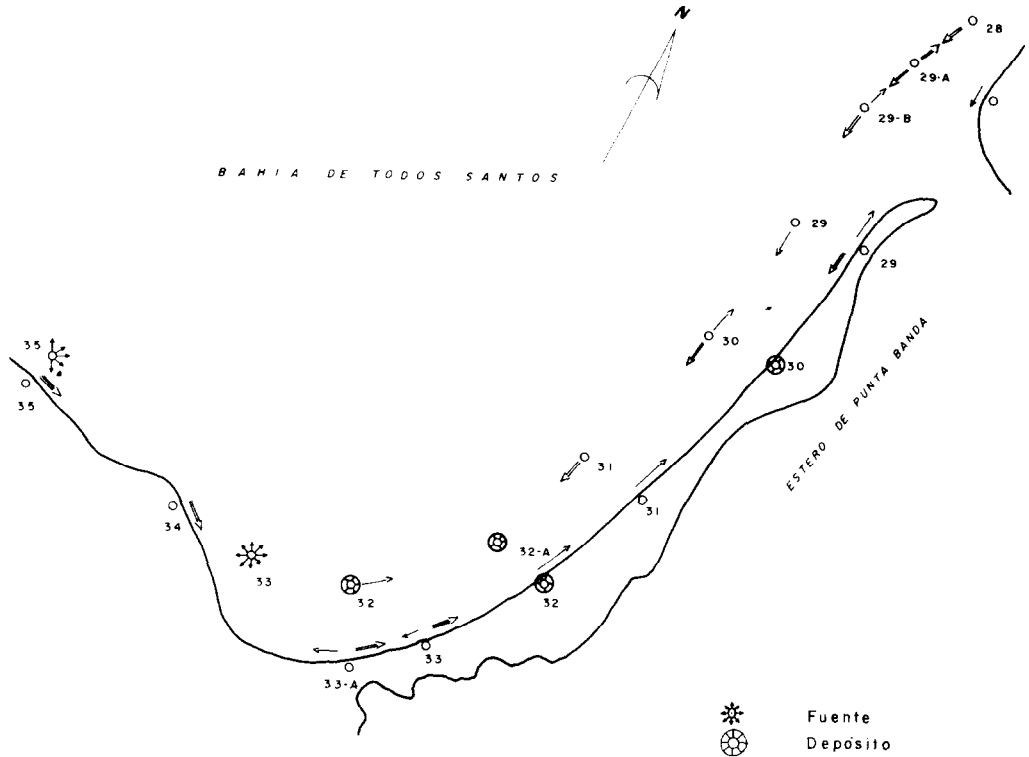


FIGURA 15. Comportamiento general del movimiento de sedimento en la zona sur de la bahía.

FIGURE 15. General behavior of the sediment movement in the southern zone of the bay.

En general, las muestras de playa indican un sentido de transporte de sedimentos hacia el Norte, dando origen al crecimiento de la barra del estero; sin embargo, las estaciones P28 y P29, localizadas en la boca del Estero de Punta Banda, son capaces de proporcionar sedimentos, en dirección Sur, hasta la estación P33A, notándose el mayor grado de influencia en las estaciones P32 y P30. Esto puede ser debido a las fuertes corrientes que son originadas por la acción de las mareas en la boca del estero.

En la zona de las estaciones M31 y M32 las muestras de mar denotan, en general, la convergencia de un transporte en sentido Norte desde las estaciones M28 y M29, y de un transporte hacia el Sur desde las estaciones M35 y M33. Las figuras 13, 14 y 15 muestran en forma simplificada el comportamiento general del movimiento de sedimentos en la bahía atendiendo a los dos criterios utilizados.

## CONCLUSIONES

Los criterios utilizados en el presente trabajo (McLaren, Sunamura y Horikawa) proporcionaron resultados muy similares en toda la zona de estudio.

El patrón de circulación a lo largo de la costa no está perfectamente definido, sin embargo las tendencias generales del sedimento denotan que:

a) En la parte norte de la bahía el transporte dominante en la zona de playa es hacia el Sur. Sin embargo, atrás de la zona de rompiente, el comportamiento de los sedimentos no parece mostrar un patrón confiable.

b) En la zona central las características del sedimento de playa indican una circulación hacia el Norte. Por otro lado, los sedimentos localizados atrás de la zona de rompiente indican una circulación hacia el Sur hasta la zona de las estaciones M24 y M25, y hacia el Norte desde la boca del Estero de Punta Banda hacia la estación M25.

c) En la parte sur la circulación inferida tanto en la zona de playa como en el mar

## CONCLUSIONS

The criteria used in the present study (McLaren, Sunamura and Horikawa) gave very similar results in the study area.

The circulation pattern along the coast is not perfectly defined; however, the general trends of the sediment show:

a) In the north part of the bay the dominant transport in the beach zone is towards the south. However, behind the surf zone, the behavior of the sediment does not seem to show a reliable pattern.

b) In the central zone the characteristics of the beach sediment indicate a circulation towards the north. On the other hand, the sediments located behind the surf zone indicate a circulation towards the south to the zone of stations M24 and M25, and to the north from the mouth of the Estero de Punta banda towards stations M25.

c) In the southern part, the inferred circulation in the beach zone as well as in the sea has a northern direction, but the influence of the tide currents is appreciated in the zone next to the mouth of the estuary as a component with a southern direction.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Lorenzo Gomez-Morin Fuentes, Miguel Antonio Mendez Arriaga, Francisco Javier Aranda Manteca and Eduardo Alfaro Pardo for their help during the sampling stage.

We thank the Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE) for the use of the PRIME 400 computer on which we processed the information.

The present study is part of the project: "Coastal circulation pattern inferred from some natural characteristics of the sediments in Todos Santos Bay, B. C." realized with a grant from the Dirección General de Investigación Científica y Superación Académica de la Secretaría de Educación Pública.

Myra Pamplona translated this work into English.

es en sentido Norte, pero se aprecia la influencia de las corrientes de marea en la zona adyacente a la boca del estero como una componente en sentido Sur.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la desinteresada ayuda que durante la etapa de muestreo nos proporcionaron los amigos y colegas Lorenzo Gómez-Morín Fuentes, Miguel Antonio Méndez Arriaga, Francisco Javier Aranda Manteca y Eduardo Alfaro Pardo.

Asimismo, agradecemos al centro de Investigaciones Científicas y Educación Superior de Ensenada (CICESE) por el uso de la computadora PRIME 400 para el procesamiento de la información.

El presente trabajo forma parte del proyecto "Patrón de circulación costera inferida a partir de algunas características naturales de sedimentos en la Bahía de Todos Santos, B. C." realizado bajo el patrocinio de la Dirección General de Investigación Científica y Superación Académica de la Secretaría de Educación Pública.

La oceanóloga Myra Pamplona realizó la traducción al inglés de este trabajo.

### LITERATURA CITADA

- ALVAREZ Sánchez, L.G. 1971. Medición de corrientes superficiales en la Bahía de Todos Santos. Tesis de licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas (E.S.C.M.), Universidad Autónoma de Baja California (UABC).
- BACA Chacón, C. 1981. Procedencia de minerales pesados en la Bahía de Todos Santos, Baja California. Tesis de licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas (E.S.C.M.), Universidad Autónoma de Baja California (UABC).
- CARVER, R.E., 1971. *Procedures in sedimentary petrology*. Wiley Interscience, New York, pp. 51-52.
- EMERY, K. O., D. S. Gorsline, E. Uchupi, y R. D. Terry, 1957. Sediments of three bays of Baja California: Sebastián Vizcaíno, San Cristóbal and Todos Santos. *Jour. of Sed. Petrol.*, Vol. 27, No. 2 pp. 75-115.
- GÓMEZ-MORIN Fuentes, L., 1981. Análisis hipsométrico de la rada del puerto de Ensenada, Baja California. Tesis de licenciatura E.S.C.M. UABC. Ensenada, B. C., México.
- KRUMBEIN, C., 1934. Size frequency distributions of sediments. *Jour of Sed. Petrol.* Vol. 4, pp. 65-77.
- LIZARRAGA Arciniéga, R., 1976. Estudio de los movimientos cíclicos de la playa en la Bahía de Todos Santos, B.C., *Revista Ciencias Marinas*. Vol. 3 No. 1, pp. 30-50.
- McLAREN P. 1981. An interpretation of trends in grain size measures. *Jour Sed. Pet.* V-51, No. 2. June 1981, pp. 0611-0624.
- O'BRIEN, M.P. y L. Zeevaert, 1968. Design of a small tidal inlet. *A. Soc. of Engineering, Congress of Coastal Engineering*. Vol. II, pp. 1242-1257.
- ROYSE, Chester, 1970. An introduction to sediment analysis. *Arizona State University Publications*, pp. 180.
- SUNAMURA, T. y K. Horikawa, 1971. Predominant direction of littoral transport along Kujuyukury Beach, Japan. *Coastal Engineering in Japan*, Vol. 14, pp. 107-117.
- WALTON, W.R., 1955. Ecology of living benthonic foraminifera, Todos Santos Bay, Baja California. *Jour. of Paleontology*, Vol. 29.