

BIBLIOTECA CENTRAL ENSENADA

# UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

## Escuela Superior de Ciencias Marinas

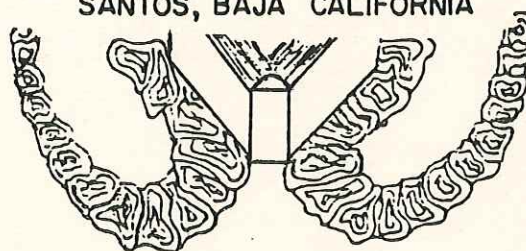
UNIVERSIDAD AUTONOMA  
DE BAJA CALIFORNIA



ESCUELA SUPERIOR DE  
CIENCIAS MARINAS  
BIBLIOTECA



TRANSPORTE EOLICO EN UNA PORCION  
DE PLAYA DE LA BAHIA DE TODOS  
SANTOS, BAJA CALIFORNIA



Universidad Autónoma  
de Baja California



BIBLIOTECA CENTRAL  
ENSENADA

# T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

## OCEANOLOGO

PRESENTA

OSCAR EFRAIN GONZALEZ YAJIMOVICH

ENSENADA, B. C.

1981

DEDICATORIAS:

A mi madre: ejemplo de honestidad, trabajo,  
alegría y amor a su familia.

A mi padre.

A mis hermanos: Gustavo Arturo  
Elda Yanina  
Diana Perla  
Ana Carolina  
Hugo José Luis  
José Francisco  
y Hector Manuel

A Jennifer

## AGRADECIMIENTOS:

Al Maestro en Ciencias Román Lizárraga Arciniega, por la acertada dirección de este trabajo.

Al Oceanólogo Adolfo González Calvillo, pues la crítica revisión y sus acertadas sugerencias a este trabajo fueron de gran ayuda.

A mis maestros, amigos y colegas: Miguel Lopez Alvarez, Alfredo Chee Barragán, Francisco Suarez Vidal y Roberto Perez Higuera, por sus consejos, amistad y apoyo de siempre.

Al Ingeniero Cesar Obregón M-Sanz, pues el reprobador su curso despertó en mí el interés por la geología marina.

## I N D I C E

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| I.- INTRODUCCION:.....                     | 1  |
| 1.1.- Antecedentes.....                    | 3  |
| 1.1.1.- Generales.....                     | 3  |
| 1.1.2.- Particulares.....                  | 5  |
| 1.2.- Objetivo.....                        | 7  |
| 1.3.- Hipótesis.....                       | 7  |
| 1.4.- Descripción del Area de Estudio..... | 8  |
| II.- METODOS Y MATERIALES.....             | 10 |
| 2.1.- Métodos.....                         | 10 |
| 2.2.- Materiales.....                      | 16 |
| III.- RESULTADOS.....                      | 17 |
| IV.- DISCUSIONES.....                      | 26 |
| V.- CONCLUSIONES.....                      | 28 |
| VI.- BIBLIOGRAFIA:.....                    | 29 |

## TRANSPORTE EOLICO EN UNA PORCION DE PLAYA DE LA BAHIA DE TODOS SANTOS, BAJA CALIFORNIA.

### I.- INTRODUCCION:

El viento es un factor que interviene de forma directa e indirecta en el movimiento de material sedimentario: directamente al actuar como agente de transporte, e indirectamente al influir sobre otros agentes de transporte, como son el oleaje y las corrientes litorales.

El viento como agente directo de transporte, es importante en la aplicación del balance de sedimentos en las zonas costeras, ya que este balance a su vez, reconoce y evalúa zonas potencialmente erosionales o deposicionales. Dicho balance consiste basicamente en la aplicación del principio de continuidad o conservación de masa a los sedimentos litorales de un área conocida, y para la realización de este, es necesario cuantificar todas las ganancias y pérdidas de sedimento en un sistema. El transporte de arena por viento puede ser una fuente o ganancia de sedimento, pero mas comunmente los vientos soplan de mar a tierra produciendo un transporte de material en este mismo sentido, y de esta manera, provocando una pérdida en el sistema. Es importante conocer el transporte de sedimento por acción del viento, ya que este tiene implicaciones de tipo oceanográfico, sedimentológico e ingenieril.

La ciudad de Ensenada, Baja California, tiene entre sus planes: La formación de centros turísticos recreativos en las zonas de Playa Hermosa y Playa Municipal, la ampliación del Boulevard Costero hasta la zona del Estero de Punta Banda. Las obras mencionadas, como todas las obras costeras, requieren de un amplio conocimiento del area y de los procesos que actuan sobre ella para su buena planeación.

Además de los proyectos mencionados, cabe decir tambien que las playas arenosas localizadas entre la desembocadura del arroyo El Gallo y la boca de El Estero de Punta Banda, presentan constantes problemas de erosión que son especialmente notorios en las calles costeras del fraccionamiento Playa Hermosa, las cuales se han venido erosionando a partir de la construcción del rompeolas del puerto. Esto probablemente se deba a la difracción del oleaje proveniente del NW producida por el rompeolas. Este tipo de problemas pueden ser solucionados con obras costeras adecuadas, haciendo uso de herramientas como el presente trabajo.

### 1.1.- Antecedentes

#### 1.1.1.- Generales

Los estudios mas completos sobre el mecanismo de transporte eólico, son los de Kawamura (1951) y Bagnold (1954), aunque cabe mencionar que este ha sido estudiado por varios autores, contribuyendo así a un mejor conocimiento de los factores que controlan el movimiento de material sedimentario por vientos. Entre los mas destacados autores, tenemos: Horikawa y Shen (1960), Zingg (1953), Ford (1957) y O'Brien y Rindlaub (1936).

Se han hecho comparaciones de las diferentes ecuaciones cuantitativas de este transporte (Belly 1964, Kadib 1964) en tunel de viento y en condiciones naturales, resultando la mas confiable la propuesta por Bagnold (1954). Sin embargo el uso práctico de esta ecuación requiere de la utilización de ecuaciones propuestas por otros autores para el cálculo de los diferentes parámetros inmiscuidos, como se verá mas adelante.

En cuanto a la evaluación del transporte directo por viento en una playa, son pocos los trabajos realizados siendo notorios el de Kadib (1964) en Salmon Beach California en los Estados Unidos, Inman et al (1966) en Guerrero Negro Baja California, México, y Svasek y Terwindt (1974) en los paises bajos.

De las diferentes expresiones desarrolladas para evaluar el transporte eólico de arena, son tres las más importantes, a saber:

Fórmula de Kawamura (1951): Calcula la razón de transporte de arena por unidad de longitud de playa y unidad de tiempo  $Q$  y está dada por:

$$Q = K (f/g) (U^* - U_{t*})(U^* + U_{t*})^2$$

Donde  $f$  es el peso específico del aire,  $g$  es la aceleración por gravedad,  $U^*$  es la velocidad cortante del viento,  $U_{t*}$  es la velocidad incipiente, y  $K$  es una constante que debe ser obtenida en forma experimental. Kawamura encontró un valor de  $K = 2.78$  para arena con tamaño medio de grano de 0.25 mm haciendo experimentos en tunel de vientos.

Fórmula de O'Brien y Rindlaub (1936) : Esta fué obtenida a partir de datos de transporte medidos en forma directa y comparados con estadísticas de viento y es como sigue :

$$G = 0.036 \frac{U^3}{5} \quad \text{Para } U \geq 20 \text{ pies/seg}$$

Donde  $G$  es la razón de transporte por día por pie de longitud y está dada en libras, y  $U$  es la velocidad del viento medida a 5 pies de altura sobre la superficie de la arena en pies/seg.

El desarrollo de esta fórmula se llevó a cabo para arena con diámetro medio de grano de 0.195 mm. y su uso, por tanto, esta restringido a areas con arenas de un diámetro medio de grano similar.

Fórmula de Bagnold (1954):

$$Q = C \sqrt{\frac{d}{D}} \frac{f}{g} U^3 \quad (1)$$

Donde D es el diámetro de grano de referencia y es igual a 0.25 mm, d es el diámetro medio de grano de arena a ser transportada, en mm, y C es una constante con los siguientes valores :

1.5 Para arena bien clasificada

1.8 Para arena con clasificación intermedia

2.8 Para arena mal clasificada

#### 1.1.2.- Particulares

Diferentes aspectos de la bahía de Todos Santos han sido estudiados en relación a los sedimentos, aunque no existen trabajos de transporte eólico en sus playas, Walton (1955) presenta un trabajo sobre ecología de foraminíferos bentónicos, en el cual incluye una distribución granulométrica del sedimento de la bahía, Lizárraga Partida (1972) hace un estudio sobre la contaminación con poliquetos como indicadores, Lizárraga Arciniega (1972) estudió los movimientos cíclicos de

la arena de la playa por medio de secciones transversales, Estudios sedimentológicos de la bahía han sido desarrollados por Emery et al (1957) y Secretaría de Marina (1974).

Existen además, otros trabajos relacionados con el viento, como los de Alvarez (1971, 1977) el cual realiza trabajos sobre corrientes superficiales y vientos respectivamente y como el de Pavia (1979), el cual demostró la existencia de una brisa marina bien definida en la bahía de Todos Santos y la describió como de rapidez alta y variable con ráfagas ocasionales y de dirección muy persistente. De igual manera encontró que el viento durante la noche es de dirección poco persistente y de rapidez baja y menos variable.

Según Alvarez 1977 y Secretaría de Marina 1974, el viento en la bahía de Todos Santos tiene una dirección predominante WNW con intensidad de unos 8 nudos, y esto ocurre en forma general durante el día, aunque los datos proporcionados por la Fuerza Aérea Mexicana para el año de 1977 indican una dirección W franco predominante. Durante la noche se invierte el sentido, aunque con muy bajas intensidades (Secretaría de Marina 1974, Pavia 1979).

### 1.2.- Objetivo

El objetivo de este trabajo es la evaluación del transporte de arena por viento utilizando datos meteorológicos de rutina, en el area de estudio.

### 1.3.- Hipótesis

Según los datos proporcionados por la estación meteorológica militar No. 50, la dirección predominante de viento en el area de estudio es de  $270^{\circ}$  y de acuerdo a Bagnold (1954) que propone que el transporte de arena por viento es proporcional al esfuerzo producido por este y en la misma dirección y sentido, se propone la siguiente:

#### Hipótesis

El transporte neto de arena por viento en el area de estudios será en la dirección Oeste-Este y en sentido Mar-Tierra.

#### 1.4.- Descripción del Area de Estudio

El area de estudio consiste en una porción de 3.9 km de longitud de la playa de cabecera de la bahía de Todos Santos, Baja California México. Esta bahía se encuentra localizada entre las latitudes  $31^{\circ}43'N$  y  $31^{\circ}55'N$ , y las longitudes  $116^{\circ}37'W$  y  $116^{\circ}48'W$  (fig. 1). Se encuentra delimitada al Norte por la Punta San Miguel, y al Sur por la península de Punta Banda, y cierra su círculo de protección con dos islas localizadas a 3.5 millas náuticas al Noroeste de Punta Banda.

La playa de cabecera de la bahía tiene una extensión de aproximadamente 16 km en su totalidad, y se encuentra interrumpida en su parte Sur por la boca de El Estero de Punta Banda, y en su parte Norte, por la desembocadura del Arroyo Ensenada.

La porción de playa estudiada se encuentra delimitada hacia la parte continental por una franja de dunas bajas, parcialmente vegetadas y de aproximadamente 200 m de ancho, clasificadas como dunas de playa (fig. 1).

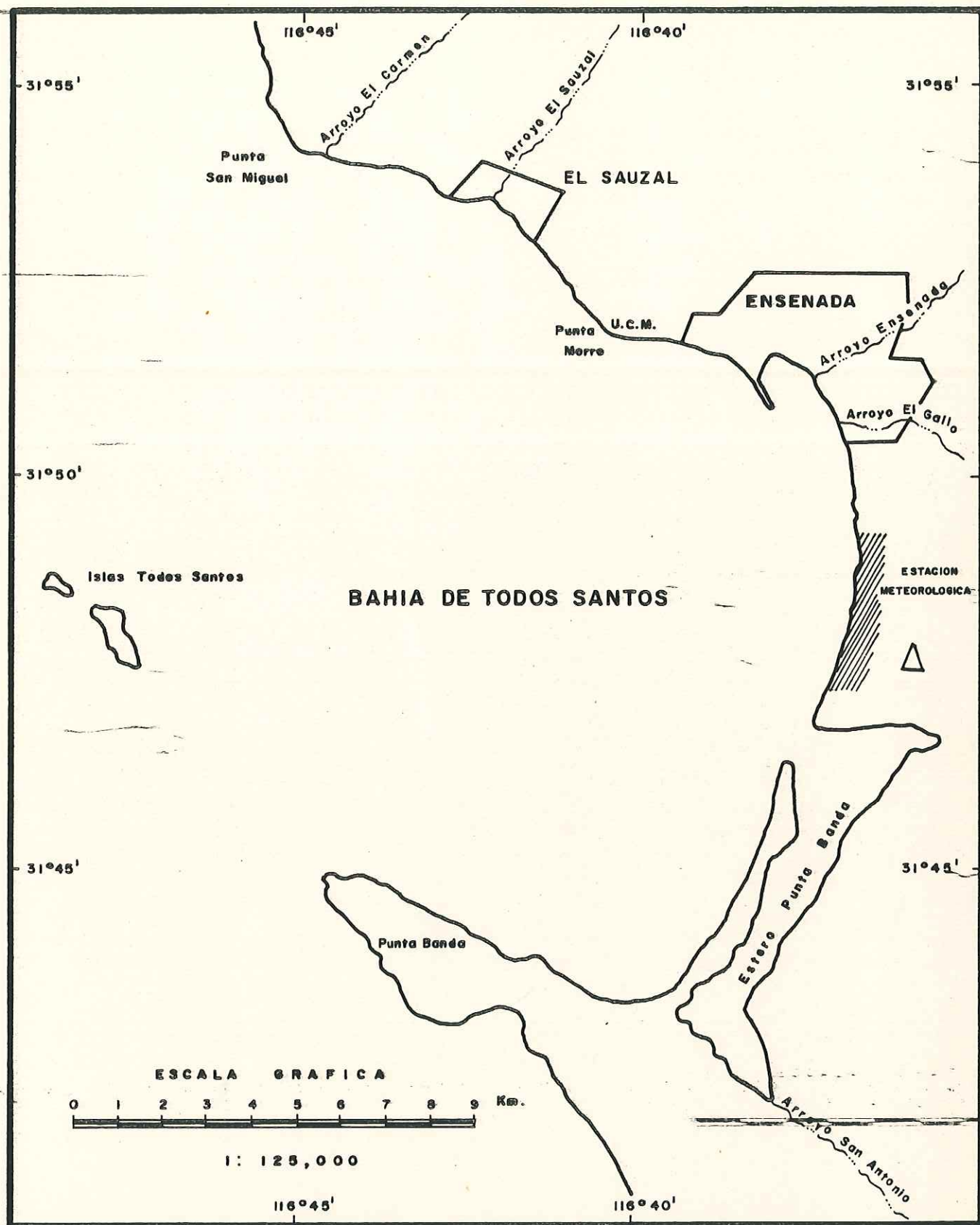


Fig. I - LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO Y ESTACION METEOROLOGICA .

## II.- METODOS Y MATERIALES

### 2.1.- Métodos

Haciendo un análisis de las fórmulas anteriores, se nota que la fórmula de Bagnold (1954) es la más apropiada al desarrollo del presente estudio por las razones que a continuación se exponen :

1.- Es dimensionalmente correcta.

2.- Considera el diámetro medio de grano de la arena a ser transportada.

3.- El coeficiente C tiene valores definidos, en cambio el coeficiente K de la fórmula de Kawamura se debe encontrar en forma empírica.

4.- La fórmula de Kawamura proporciona una incógnita mas en el cálculo del transporte al incluir la velocidad incipiente, sobre todo porque esta depende en gran parte de la humedad en el sedimento.

5.- La fórmula de O'Brien y Rindlaub no es aplicable definitivamente al presente estudio ya que como se verá más adelante, el area considerada no tiene el mismo diámetro medio

de grano de arena, y las mediciones de viento no fueron hechas a 5 pies de altura como especifica la fórmula.

Una vez visto lo anterior, se puede reescribir la fórmula de Bagnold en una forma mas apropiada al presente estudio ya que ésta da el transporte en masa por unidad de tiempo y unidad de longitud. La ecuación (1) queda entonces :

$$Q = C L T \sqrt{\frac{d}{D}} \frac{f}{g} U^*{}^3 \quad (2)$$

Q está dada entonces en unidades de masa al año para una cierta longitud de area de estudio medida perpendicular a la dirección de viento considerada. El tiempo T de la ecuación (2) puede ser convertido a horas al año t, y este valor deberá obtenerse en el campo por medio de anemómetro y veleta o cualquier otro método de medición directa. De igual manera deberán tomarse muestras de arena con el fin de obtener el diámetro medio de grano de arena d y además seleccionar un valor apropiado de la constante C de Bagnold para el area en cuestión.

Bagnold encontró que cuando la velocidad incipiente se sobrepasa, la velocidad del viento adquiere forma logarítmica y los perfiles para todos los vientos convergen en un punto al que él llamó foco. Lo anterior ha sido corroborado por Belly (1964), Johnson (1965), Inman et al (1966) y Kadib (1966), y la

existencia del foco permite calcular la velocidad cortante  $U^*$ , y por lo tanto el transporte  $Q$ , en términos de las componentes de dicho foco a partir de una sola medición de viento a una cierta altura  $Z$  (registro del anemómetro), haciendo uso de la ecuación de distribución de viento propuesta por Von Karman (1934) y escrita aquí en la forma :

$$U = 6.13 U^* \log \frac{Z}{Z'} + U' \quad (3)$$

Donde  $U$  es la velocidad de viento a una altura  $Z$  sobre la superficie de la arena ,  $Z'$  y  $U'$  son las coordenadas del foco. Entonces de la ecuación (3) tenemos :

$$U^* = \frac{U - U'}{6.13 \log(Z/Z')} \quad (4)$$

Zingg (1953) encontró que las coordenadas del foco se pueden predecir por medio de las fórmulas :

$$\begin{aligned} Z' &= 10 \text{ d milímetros} \\ U' &= 20 \text{ d millas por hora} \end{aligned} \quad (5)$$

Donde  $d$  es el diámetro medio de partículas del sedimento a ser transportado y está expresado en milímetros.

Para la aplicación del método, se escogió la porción de playa antes descrita y esta se dividió en cuatro intervalos de acuerdo a la variación de tamaño de grano y su alineación con respecto a la dirección del viento considerada.

Duración del viento en horas/año t. La información de viento fué proporcionada por la Fuerza Aérea Mexicana de datos obtenidos en la estación meteorológica militar No. 50, en El Ciprés, Baja California. La estación No. 50 se encuentra localizada a los  $31^{\circ}47' 37''$ N y a los  $116^{\circ}35' 56''$ W a 8 metros sobre el nivel del mar y a una distancia de 1800 metros del punto mas cercano a la linea de playa (fig. 1).

Se obtuvieron promedios diarios a partir de 13 lecturas diurnas de anemómetro y veleta durante todo el año de 1977, esto nos da un total de 4745 horas registradas, de las cuales, 1729 fueron consideradas como calma por ser de velocidad menor de 4 nudos (6.79 pies/segundo).

Longitud de las proyecciones L. El area de estudios fue delimitada y localizada sobre el plano topográfico de la bahía. Cada uno de los cuatro intervalos antes mencionados fué medido y sus proyecciones perpendiculares a la dirección del viento ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  y  $L_4$ ) fueron calculadas haciendo uso de relaciones trigonométricas (fig. 2).

Cálculo de la velocidad cortante  $U^*$ . La velocidad cortante  $U^*$  fue calculada mediante el uso de la ecuación (4) y las fórmulas (5) de Zingg para cada intervalo y para las diferentes velocidades de viento registradas. Todas las mediciones fueron hechas a 26 pies sobre la superficie de la

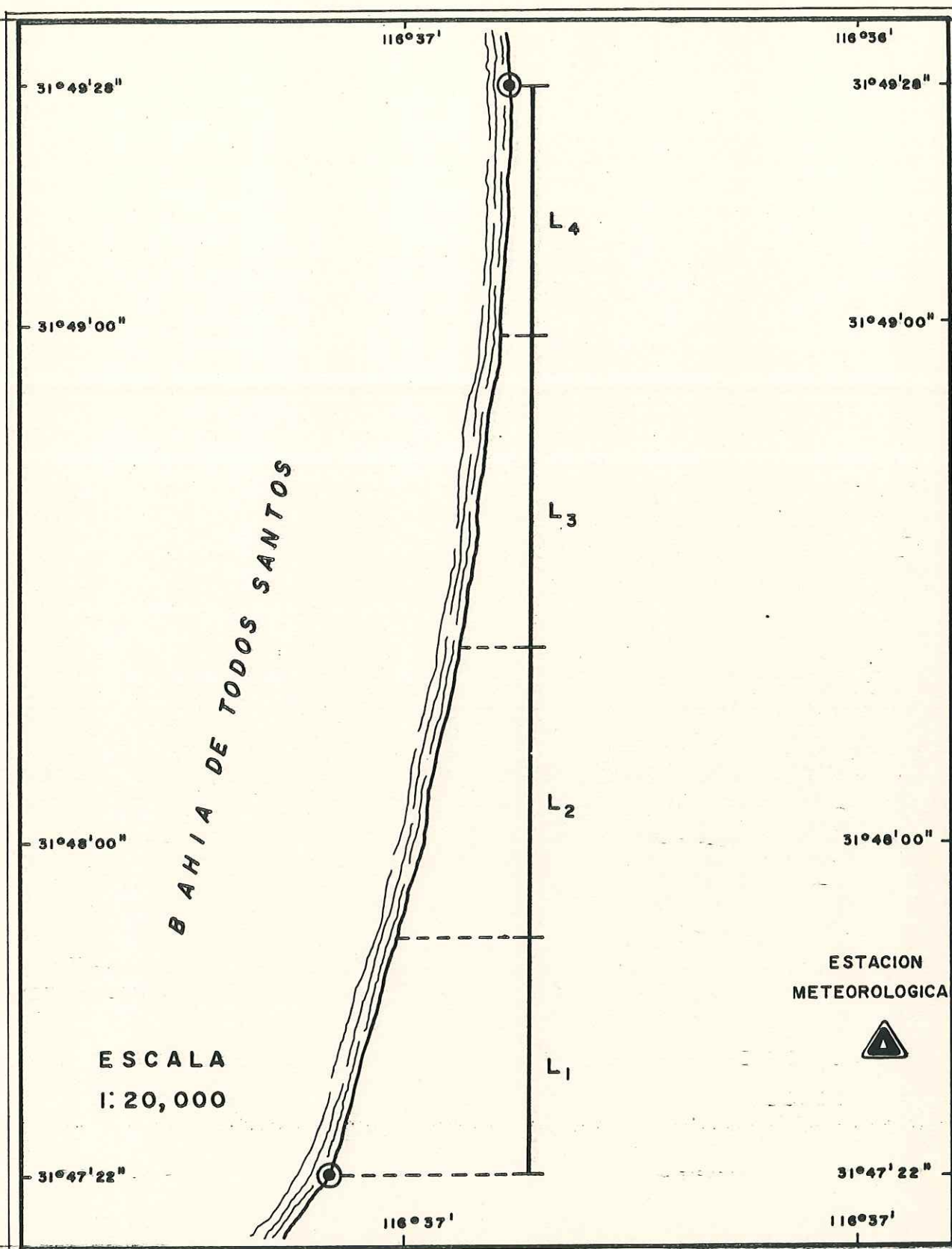


Fig.- 2- AREA DE ESTUDIOS MOSTRANDO LOS INTERVALOS Y LAS PROYECCIONES L .

arena. Un ejemplo de este cálculo sería :

INTERVALO 1

$$d = 0.164 \text{ mm.}$$

$$Z' = 0.00538 \text{ pies}$$

$$U' = 4.81 \text{ pies/seg}$$

Para un viento de 6.74 pies/seg

$$U^* = \frac{6.74 - 4.81}{6.13 \log(26/0.00538)} = 0.0854$$

$$U^* = 0.854 \text{ pies por segundo}$$

Transporte anual Q. Ya obtenidos los valores antes mencionados, se aplicaron en la ecuación (1) y encontrando un valor apropiado para la constante de Bagnold C , se pudo cuantificar el transporte anual para cada uno de los intervalos.

## 2.2.- Materiales

Estadísticas de viento de la estación meteorológica militar No. 50, de la Fuerza Aérea Mexicana, para el año de 1977.

Plano topográfico del área. Escala 1:35,000. Secretaría de Marina. 1973.

Brújula Brunton.

Serie de tamices de 0 a 4 FI US Standard.

Tamizador Ro-Tap.

Balanza Mettler p-160. precisión  $\pm 0.001$  gramos.

Horno de secado. Precision Scientific. Modelo 17.

Nucleador de mano. Geophysical Instrument and Supply. Modelo A-1B.

Cuarteador mecánico. GISCO. modelo CL-242.

### III.- RESULTADOS

La tabla 1 muestra las características físicas de los cuatro intervalos en que se dividió el area de estudio. La tabla 2 muestra la duración del viento en horas al año para las diferentes velocidades y direcciones registradas. La tabla 3 muestra los valores de longitud de las proyecciones calculadas perpendiculares a la dirección del viento considerado. La figura 2 muestra estos mismos valores en forma gráfica. Las tablas 4 y 5 muestran los cálculos del foco y velocidad cortante respectivamente.

El transporte total de arena por vientos en el area de estudios para el año de 1977 en el sentido Oeste-Este, fué de 40,602,009.4 libras, esto es 18,433,312 kg, suponiendo una densidad de  $2.65 \text{ g/cm}^3$  se tiene como resultado un volumen total anual transportado de  $6,955.85 \text{ m}^3$ , o  $7,000 \text{ m}^3$  en numeros cerrados. Estos resultados se muestran en las tablas 6 a 10. En el sentido Este-Oeste, el transporte fué de 4,192,997.10 libras al año o  $740.70 \text{ m}^3$ . Este resultado se muestra en la tabla 11.

TABLA 1

| CARACTERISTICAS FISICAS DEL AREA |                                 |       |         |              |            |
|----------------------------------|---------------------------------|-------|---------|--------------|------------|
| INTERVALO                        | LONG. A LO LARGO<br>DE LA PLAYA |       | MEDIANA | $\sqrt{d/D}$ | COMENTARIO |
|                                  | METROS                          | PIES  |         |              |            |
| 1                                | 875                             | 2878  | 0.1640  | 0.810        | C = 1.8    |
| 2                                | 1050                            | 3453  | 0.1640  | 0.810        | C = 1.8    |
| 3                                | 1085                            | 3568  | 0.1530  | 0.782        | C = 1.8    |
| 4                                | 910                             | 2993  | 0.1430  | 0.756        | C = 1.8    |
| TOTAL =                          | 3920                            | 12892 |         |              |            |

TABLA 2

## DURACION DEL VIENTO A DIFERENTES VELOCIDADES Y DIRECCIONES

| <u>VELOCIDAD</u> |        |       | <u>DURACION</u> en Horas/Año |     |
|------------------|--------|-------|------------------------------|-----|
| Nudos            | Millas | ft/s  | W                            | E   |
| 04               | 4.60   | 6.74  | 598                          | 000 |
| 05               | 5.75   | 8.44  | 26                           | 000 |
| 06               | 6.90   | 10.12 | 1365                         | 000 |
| 07               | 8.05   | 11.80 | 13                           | 000 |
| 08               | 9.20   | 13.49 | 585                          | 000 |
| 10               | 11.51  | 16.88 | 208                          | 000 |
| 12               | 13.81  | 20.25 | 65                           | 000 |
| 14               | 16.11  | 23.63 | 65                           | 000 |
| 16               | 18.91  | 27.74 | 13                           | 000 |
| 18               | 20.71  | 30.38 | 65                           | 000 |
| 20               | 23.02  | 33.77 | 000                          | 13  |
| TOTAL =          |        |       | 3016                         | 13  |

TABLA 3

## PROYECCIONES PERPENDICULARES A LA DIRECCION DEL VIENTO

| INTERVALO | LONGITUD | PROYECCION | DIAMETRO |
|-----------|----------|------------|----------|
|           | ft       | ft         | d        |
| 1         | 2878     | 2752.13    | 0.164    |
| 2         | 3453     | 3377.80    | 0.164    |
| 3         | 3568     | 3552.12    | 0.153    |
| 4         | 2993     | 2991.14    | 0.143    |

TABLA 4

## CALCULOS DEL PUNTO FOCAL (ZINGG)

| INTERVALO | d (mm) | Z' (mm) | Z' (ft)  | U' (mi/h) | U' (ft/s) |
|-----------|--------|---------|----------|-----------|-----------|
| 1         | 0.164  | 1.64    | 0.005380 | 3.28      | 4.81      |
| 2         | 0.164  | 1.64    | 0.005380 | 3.28      | 4.81      |
| 3         | 0.153  | 1.53    | 0.005022 | 3.06      | 4.49      |
| 4         | 0.143  | 1.43    | 0.004694 | 2.86      | 4.19      |

TABLA 5

CALCULOS DE  $U^*$  PARA LOS DIFERENTES INTERVALOS Y VELOCIDADES  
MEDIDAS A 26 PIES DE ALTURA,  $U_{26}$ 

| $U_{26}$ | 1      | 2      | 3      | 4      |
|----------|--------|--------|--------|--------|
| 6.74     | 0.0854 | 0.0854 | 0.0988 | 0.1111 |
| 10.12    | 0.2351 | 0.2351 | 0.2472 | 0.2584 |
| 11.80    | 0.3095 | 0.3095 | 0.3210 | 0.3316 |
| 13.49    | 0.3843 | 0.3843 | 0.3953 | 0.4052 |
| 16.88    | 0.5344 | 0.5344 | 0.5441 | 0.5530 |
| 20.25    | 0.6836 | 0.6836 | 0.6922 | 0.6948 |
| 23.63    | 0.8333 | 0.8333 | 0.8406 | 0.8471 |
| 27.74    | 1.0153 | 1.0153 | 1.0211 | 1.0262 |
| 30.38    | 1.1322 | 1.1322 | 1.1371 | 1.1413 |
| 33.77    | 1.2823 | 1.2823 | 1.2860 | 1.2890 |
| 37.13    | 1.4310 | 1.4310 | 1.4336 | 1.4354 |
| 42.19    | 1.6551 | 1.6551 | 1.6558 | 1.6559 |

TABLA 6

## TRANSPORTE ANUAL PARA EL INTERVALO 1 (1977)

$$\sqrt{d/D} = 0.810$$

---

| W     |        |                 |      |      |                    |
|-------|--------|-----------------|------|------|--------------------|
| U     | U*     | U* <sup>3</sup> | t    | L    | U* <sup>3</sup> tL |
| 6.74  | 0.0854 | 0.00062         | 598  | 2752 | 1024.93            |
| 8.44  | 0.1607 | 0.00415         | 26   | 2752 | 296.94             |
| 10.12 | 0.2351 | 0.01299         | 1361 | 2752 | 48796.67           |
| 11.80 | 0.3095 | 0.02964         | 13   | 2752 | 1060.40            |
| 13.49 | 0.3843 | 0.05675         | 585  | 2752 | 91362.96           |
| 16.88 | 0.5344 | 0.15261         | 208  | 2752 | 87356.40           |
| 20.25 | 0.6836 | 0.31945         | 65   | 2752 | 57143.21           |
| 23.63 | 0.8333 | 0.57863         | 65   | 2752 | 103505.33          |
| 27.74 | 1.0153 | 1.04660         | 13   | 2752 | 51923.14           |
| 30.38 | 1.1322 | 1.45134         | 65   | 2752 | 259615.69          |
| 33.77 | 1.2823 | 2.10847         | 00   | 2752 | 000000.00          |

$$\Sigma U^{*3}tL = 702,085.66$$

$$Q1 = 15.2 \sqrt{d/D} U^{*3}tL$$

$$Q1 = (15.2)(0.810)(702,085.66)$$

$$Q1 = \underline{8,644,078.60} \text{ libras/año}$$

TABLA 7

## TRANSPORTE ANUAL PARA EL INTERVALO 2 (1977)

$$\sqrt{d/D} = 0.810$$

---

| W     |        |                 |      |      |                    |
|-------|--------|-----------------|------|------|--------------------|
| U     | U*     | U* <sup>3</sup> | t    | L    | U* <sup>3</sup> tL |
| 6.74  | 0.0854 | 0.00062         | 598  | 3378 | 1252.42            |
| 8.44  | 0.1607 | 0.00415         | 26   | 3378 | 364.68             |
| 10.12 | 0.2351 | 0.01299         | 1365 | 3378 | 59896.50           |
| 11.80 | 0.3095 | 0.02964         | 13   | 3378 | 1301.61            |
| 13.49 | 0.3843 | 0.05675         | 585  | 3378 | 112145.37          |
| 16.88 | 0.5344 | 0.15261         | 208  | 3378 | 107227.44          |
| 20.25 | 0.6836 | 0.31945         | 65   | 3378 | 70141.63           |
| 23.63 | 0.8333 | 0.57863         | 65   | 3378 | 127049.78          |
| 27.74 | 1.0153 | 1.04660         | 13   | 3378 | 45960.39           |
| 30.38 | 1.1322 | 1.45134         | 65   | 3378 | 318670.72          |

$$\sum U^{*3}tL = 843,645.89$$

$$Q2 = 15.2 \sqrt{d/D} U^{*3}tL$$

$$Q2 = (15.2)(0.810)(843,645.89)$$

$$Q2 = \underline{10,386,968 \text{ libras/año}}$$

TABLA 8

## TRANSPORTE ANUAL PARA EL INTERVALO 3 (1977)

$$\sqrt{d/D} = 0.782$$

---

| W     |        |                 |      |      |                    |
|-------|--------|-----------------|------|------|--------------------|
| U     | U*     | U* <sup>3</sup> | t    | L    | U* <sup>3</sup> tL |
| 6.74  | 0.0988 | 0.00096         | 598  | 3552 | 2048.48            |
| 8.44  | 0.1734 | 0.00522         | 26   | 3552 | 482.26             |
| 10.12 | 0.2472 | 0.01510         | 1365 | 3552 | 73240.17           |
| 11.80 | 0.3210 | 0.03307         | 13   | 3552 | 1527.32            |
| 13.49 | 0.3953 | 0.06177         | 585  | 3552 | 128353.94          |
| 16.88 | 0.5441 | 0.16107         | 208  | 3552 | 119006.26          |
| 20.25 | 0.6922 | 0.33166         | 65   | 3552 | 76573.66           |
| 23.63 | 0.8406 | 0.59397         | 65   | 3552 | 137136.71          |
| 27.74 | 1.0211 | 1.06464         | 13   | 3552 | 49160.81           |
| 30.38 | 1.1371 | 1.47026         | 65   | 3552 | 339455.01          |

$$\sum U^{*3}tL = 926,984.62$$

$$Q3 = 15.2\sqrt{d/D} U^{*3}tL$$

$$Q3 = (15.2)(0.782)(926,984.62)$$

$$Q3 = \underline{11,018,509} \text{ libras/año}$$

TABLA 9

## TRANSPORTE ANUAL PARA EL INTERVALO 4 (1977)

$$\sqrt{d/D} = 0.756$$

---


$$W$$


---

| U     | U*     | U* <sup>3</sup> | t    | L    | U* <sup>3</sup> tL |
|-------|--------|-----------------|------|------|--------------------|
| 6.74  | 0.1111 | 0.00137         | 598  | 2991 | 2452.19            |
| 8.44  | 0.1852 | 0.00635         | 26   | 2991 | 493.96             |
| 10.12 | 0.2584 | 0.01725         | 1365 | 2991 | 70439.08           |
| 11.80 | 0.3316 | 0.03646         | 13   | 2991 | 1417.67            |
| 13.49 | 0.4052 | 0.06652         | 585  | 2991 | 116392.37          |
| 16.88 | 0.5530 | 0.16911         | 208  | 2991 | 105209.31          |
| 20.25 | 0.6948 | 0.33541         | 65   | 2991 | 65208.73           |
| 23.63 | 0.8471 | 0.60786         | 65   | 2991 | 118177.10          |
| 27.74 | 1.0262 | 1.08067         | 13   | 2991 | 42019.69           |
| 30.38 | 1.1413 | 1.48661         | 65   | 2991 | 289019.28          |

$$\sum U^{*3}tL = 810,829.4$$

$$Q4 = 15.2 \sqrt{d/D} U^{*3}tL$$

$$Q4 = (15.2)(0.756)(810,829.4)$$

$$Q4 = \underline{9,317,402.8} \text{ libras/año}$$

TABLA 10

TRANSPORTE TOTAL EN EL SENTIDO W-E PARA 1977

|             |              |            |
|-------------|--------------|------------|
| Intervalo 1 | 8,644,078.6  | libras/año |
| Intervalo 2 | 10,396,968.0 | libras/año |
| Intervalo 3 | 11,018,509.0 | libras/año |
| Intervalo 4 | 9,317,402.8  | libras/año |

Total = 39,376,958.4 libras/año

TABLA 11

TRANSPORTE TOTAL EN EL SENTIDO E-W PARA 1977

$$Q = 15.2 \sqrt{d/D} U^{*3} tL$$

libras/año

$$Q1 = (15.2)(0.810)(2.10847)(13)(2752) = 928,756.45$$

$$Q2 = (15.2)(0.810)(2.10847)(13)(3378) = 1,139,984.70$$

$$Q3 = (15.2)(0.782)(2.12678)(13)(3552) = 1,167,318.00$$

$$Q4 = (15.2)(0.756)(2.14170)(13)(2991) = 956,938.00$$

$$\text{TOTAL} = 4,192,997.10$$

#### IV.- DISCUSIONES

Los valores de la constante de Bagnold resultaron ser de 1.8 para todos los intervalos, ya que la clasificación del material en las dunas fué intermedia. En la tabla 1 se observa lo arriba mencionado sin embargo, el area se ha separado en cuatro intervalos de los cuales dos tienen tambien el mismo tamaño de grano, esta separación se debe a que la longitud a lo largo de la playa de cada uno de los cuatro intervalos fué determinada en base a dos criterios: el cambio de tamaño de grano del sedimento y el ángulo promedio formado por la dirección del viento y la línea de playa. La tabla 1 muestra tambien los valores de  $\sqrt{d/D}$  el cual es un coeficiente adimensional en la fórmula de Bagnold que nos dice que tan diferente es el valor promedio de tamaño de grano de sedimento del area de estudio, al valor estandar igual a 0.25 mm. Estos valores son iguales para los intervalos 1 y 2 ya que estos tienen el mismo valor de tamaño de grano, no asi los intervalos 3 y 4, los cuales tienen valores más pequeños de tamaño de grano.

La tabla 2 muestra la predominancia del viento en la dirección Oeste, ya que del total de horas viento registradas en el año de 1977, solamente 13 no fueron en esta dirección, y estas se deben al efecto de la Condición Santana (Pavía, 1979). Esta predominancia de la dirección Oeste se debe al sistema de

circulación de brisas en la bahía, estudiado por Pavía (1979). Estas 13 horas en la dirección Este-Oeste no se consideraron despreciables, pues aunque representan menos del 1% del total de horas registradas, son las de mayor intensidad y transportan 740 m<sup>3</sup> de arena en toda el área considerada, lo que representa el 10.65% del material transportado en la dirección contraria.

Haciendo el balance de transporte eólico en el área, resulta que el transporte neto es de 6,215.16 m<sup>3</sup> de arena en el sentido Oeste-Este (Mar-Tierra). Esto nos lleva a suponer que el transporte de material a lo largo de la costa y perpendicular a la misma, tenga forzosamente que exceder los 6,200 m<sup>3</sup>, para que exista la erosión mencionada en la introducción de este trabajo.

Debe hacerse notar también que no se consideró el factor humedad en el sedimento y este puede tener un efecto reductor en el volumen total de transporte debido a las fuerzas capilares que actúan sobre los granos de arena. Cuando estas fuerzas capilares actúan sobre las partículas del sedimento, estas se mantienen unidas de tal manera que se comportan como partículas de mayor tamaño, las cuales requieren de un mayor esfuerzo para ser transportadas.

## V.- CONCLUSIONES

1.- Se encontró que el transporte eólico neto fué en el sentido Oeste-Este y con un volumen de  $6,215 \text{ m}^3$  para el año de 1977 en el area de estudio.

2.- Este valor de Q, puede ser mayor que el real ya que no se consideró humedad en el sedimento.

3.- Es recomendable efectuar un estudio de transporte eólico en el area, considerando el factor humedad y así poder proponer una corrección apropiada al transporte total.

## VI.- BIBLIOGRAFIA:

Alvarez Sanchez, L. G. 1971. Medición de corrientes superficiales en la Bahía de Todos Santos, B. C. Tesis Profesional. Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC.

----- 1977. Vientos en la bahía de Todos Santos, Baja California. Ciencias Marinas Vol 4 Num. 1 81-89.

Bagnold, R.A. 1954. The physics of blown sand and desert dunes. William Morrow and Co. New York. 265 pp.

Belly, P.Y. 1964. Sand movement by wind. University of California Institute of Engineering Research report series 72. Issue 7. 90p.

Emery, K.O., Gorsline, D.S., Uchupi, E., Terry, R.D. 1957. Sediments of three bays of B.C., Sebastian Vizcaino, San Cristobal and Todos Santos. Journal of Sedimentary Petrology Vol. 27 p 95-115.

Ford, E.F. 1957. The transport of sand by wind. Transactions of the American Geophysical Union Vol. 38 p 171.

Fuerza Aerea Mexicana. 1977. Estadística Meteorológica.  
Servicio Meteorológico Militar.

Horikawa, K. and H.W. Shen. 1960. Sand movement by wind.  
Beach Erosion Board technical memo. 119, 51p.

Inman, D.L., G.C. Ewing and J.B. Corliss. 1966. Coastal  
sand dunes of Guerrero Negro, Baja California, México.  
Geological Society of America Bulletin Vol. 77 p 787-802.

Johnson, J.W. 1965. Sand movement on coastal dunes. Federal  
Interagency Sediments Conference proceedings : US Dept.  
Agriculture Misc. Pub. No. 970, p 933.

Kadib, A.L. 1964. Calculation procedure for sand transport on  
natural beaches. University of California, Berkeley.  
Eng. Res. Center Report. 25 p.

Kawamura, R. 1951. Study of sand movement by wind. Report of  
the Institute of Sciences and Technology of Tokyo Vol. 5  
No. 3/4.

Lizárraga Arciniega, J.R. 1972. Estudio de los movimientos  
cíclicos de la playa de la bahía de Todos Santos, B. Cfa.  
por medio de secciones transversales. Tesis Profesional.  
Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC.

Lizárraga Partida, M.L. 1971. Contribución al estudio de los Vermes poliquetos como indicadores de contaminación orgánica. Tesis Profesional. Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC.

O'Brien, M.P. and B.D. Rindlaub. May 1936. The transportation of sand by wind. Civil Engineering. Vol 6 No. 5. pp 325-327.

Pavia Lopez, E.G. 1979. Brisas en la bahía de Todos Santos, B.C. durante los meses de Marzo a Agosto de 1978. Tesis Profesional. Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC.

Secretaría de Marina. 1973. Carta Batimétrica de la Bahía de Todos Santos.

Secretaría de Marina. 1974. Estudio Geográfico de la región de Ensenada, Baja California. 61-68, 144-153 pp.

Svasek, J.N and J.H.J. Terwindt. 1974. Measurements of sand transport by wind on a natural beach. Sedimentology Vol. 21 No. 2 p 311-322.

Von Karman, T. 1934. Turbulence and skin friction. Journal Aero. Science. Vol. 1.

Walton, W.R. 1955. Ecology of living benthonic foraminifera, Todos Santos Bay, B.C. Journal of Paleontology Vol. 29 p 952-1018.

Zingg, A.W. 1953. Wind tunnel studies of the movement of sedimentary material. Proc. of fifth hydraulics conference. State University of Iowa Studies in Engrg. Bull. 34, pp 111-135.