

CAUSAS DE EROSION EN PLAYAS DE TIJUANA, BC DURANTE EL PERIODO 1975-1985.

EROSION CAUSES IN PLAYAS DE TIJUANA, BC DURING 1975-1985.

Adolfo González Calvillo *
Luis Antonio Cupul Magaña **

* Instituto de Investigaciones Oceanológicas.

** Escuela Superior de Ciencias Marinas.
Apartado postal 453, Ensenada, BC, México.

GONZALEZ CALVILLO A. y Cupul Magaña L.A. Causas de erosión en Playas de Tijuana, BC, durante el período 1975-1985. Erosion causes in Playas de Tijuana, BC, during 1975-1985. *Ciencias Marinas (Méx)* 12(3): 82 - 94; 1986.

RESUMEN

A partir de 1978 el fraccionamiento Playas de Tijuana ha sufrido una serie de eventos erosivos los cuales han causado daños por cientos de millones de pesos. Se analizan dichos eventos y se discute sobre las posibles causas de erosión. Se encuentra que el principal factor responsable es la falta de aporte de material a la playa por el Río Tijuana, a raíz de la construcción de las presas Morena (1911), Barret (1921) y Rodríguez (1936). Se analizan y discuten diferentes medidas de protección a la costa y se dan algunas recomendaciones.

ABSTRACT

Since 1978 Playas de Tijuana has suffered constant erosion causing losses of several million dollars. Such events are analyzed and the most likely causes are discussed. It was found that the main cause of erosion is the lack of sand supplied by the Río Tijuana, due to the construction of the Morena (1911), Barret (1921) and Rodríguez (1936) dams. Different coastal protection methods are discussed and some actions are recommended.

INTRODUCCION

El fraccionamiento Playas de Tijuana, en Tijuana, BC (fig. 1) se comenzó a construir en 1963. En una parte del fraccionamiento se ganaron terrenos al mar mediante un relleno de material arcilloso en una franja de aproximadamente 1,800m de largo, 50m de ancho y una altura media de 4.5m, lo que son aproximadamente 400,000m³ de relleno (Departamento de Ingeniería, Urbanizadora de Tijuana). Desde la construcción del fraccionamiento no se habían advertido eventos erosivos en la costa sino hasta el invierno 1977-78, 14 años después de depositado el relleno.

INTRODUCTION

The development of Playas de Tijuana in Baja California (fig. 1) began in 1963. In the northern part a fill (mostly silt) was deposited on the shore with the purpose of gaining land from the sea. It was about 400,000m³, 1800m in length, 50m wide and 4.5m high, (Urbanizadora de Tijuana, Engineering Dept.). Since Playas de Tijuana was built, no noticeable erosive events had happened until the winter of 1977-78.

Since 1978 several erosive events have occurred. The first one happened in mid

A partir de 1978 se han presentado varios eventos erosivos. La primera erosión sucedió durante la segunda semana de febrero de 1978 y trajo como consecuencia la erosión de unos 10,000m³ de relleno. A mediados de 1981 la erosión alcanzaba aproximadamente los 150,000m³. A mediados de 1984 sumaban poco más de 250,000m³. En diciembre de 1985 la erosión está entre los 300,000 y 350,000m³. Algunas partes del fraccionamiento han sido poco afectadas, mientras que en la parte norte el terreno natural (desde 1984) previo al relleno se ha comenzado a erosionar.

No se cuenta con registros de eventos erosivos que hayan tenido lugar anteriores a 1963. Se tienen sin embargo registros de huracanes (Luna Bauza, 1973) que han pasado relativamente cerca y que debieron haber generado olas relativamente altas, como son: el huracán AVA la noche del 20 de agosto de 1962, que azotó Isla Guadalupe a unas 200 millas de Tijuana; los huracanes Francene (29 de julio de 1967) y el Lily (10 al 12 de septiembre de 1967) que pasaron a 200 y 160 millas de la costa; y el Hyacinth (5 de agosto de 1972) a 250 millas; y muy particularmente el Gwen (30 de agosto de 1972) el cual estuvo a sólo 40 millas de la costa. Ninguno de estos fenómenos acarrió consigo erosión en Playas de Tijuana a pesar del oleaje alto.

El propósito de este trabajo es encontrar las causas que han provocado la erosión del fraccionamiento Playas de Tijuana durante el período 1975-1985.

METODOS

Uno de los posibles factores son los fuertes vientos hacia la costa durante las tormentas que provocaron un sobrenivel respecto al nivel medio del mar el cual, aunado a las mareas altas, lleve al oleaje a erosionar las partes altas de la costa como sucedió en las costas de Oregon, EUA durante el invierno 1977-78 (Komar, 1978). En el caso de Playas de Tijuana a pesar de los fuertes vientos hacia la costa, la predicción y el nivel real de mareas no presentan diferencia significativa (fig. 2).

El invierno 1977-78 se caracterizó por producir daños en toda la costa oeste de EUA.

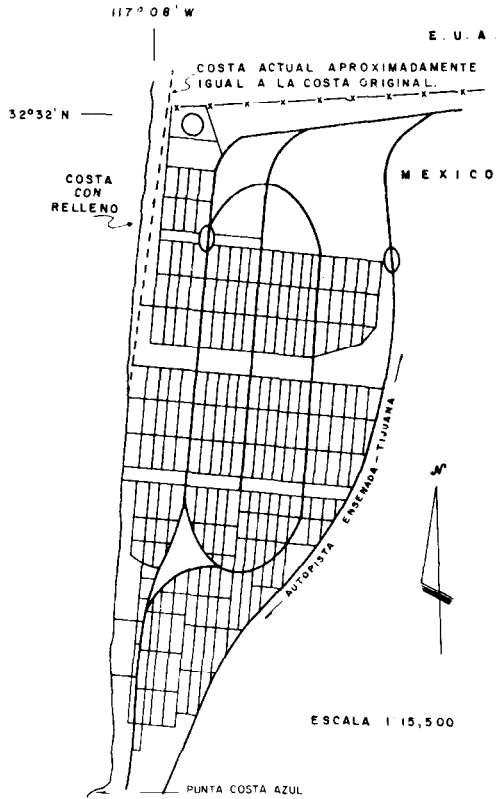


Figura 1. Mapa del fraccionamiento Playas de Tijuana mostrando la parte afectada por el oleaje.

Figure 1. Map of Playas de Tijuana showing the zone damaged by the waves.

February 1978, eroding about 10,000m³ of fill material. In June 1981 the losses accounted for 150,000m³. In 1984 it was more than 250,000m³. Finally, in December 1985 the erosion was between 300,000 and 350,000m³. Some parts of Playas de Tijuana have suffered little or no damage. However, in the northern part the fill has disappeared, and the original shore is now being eroded.

There are no records of erosion that has occurred before 1963. There are, however hurricane records (Luna, 1973). These hurricanes should have generated high seas such as: hurricane AVA the night of August 20, 1962

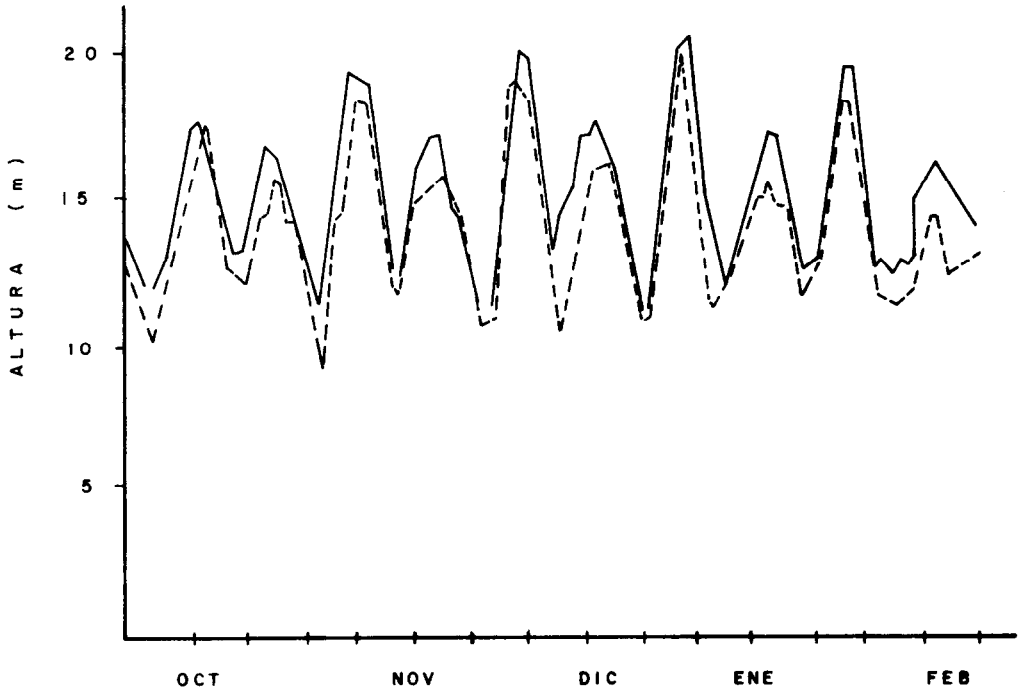


Figura 2. Máximos diarios de pleamar para Ensenada, BC, de octubre a febrero de 1977-78. La línea sólida es la predicción (UNAM) y la cortada es el registro de mareas (CICESE).

Figure 2. Daily high tide levels at Ensenada, BC, from October 1977 to February 1978. The solid line is for prediction (UNAM), and the dashed one is for measurements (CICESE).

Dormurat (1978) hace notar que no es la altura de un grupo de olas o un día de oleaje alto en particular lo que provoca los mayores daños, sino la persistencia del oleaje de tormenta. En su trabajo, Dormurat encuentra que el promedio corrido de la potencia de la ola fue mayor durante el invierno 1977-78 que durante los inviernos 1975-76 y 1976-77.

La información más confiable cercana a Playas de Tijuana sobre oleaje es la obtenida por la institución SCRIPPS de La Jolla, California, a través del Coastal Data Information Program (CDIP) (Seymour et al., 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986). De las estaciones que trabajan, las más cercanas a nosotros son las de Imperial Beach (IB), Mission Bay (MB), Mission Bay Buoy (MBB) y Scripps Pier (SP) (fig. 3). Desafortunadamente los datos de IB a poco

passing 200 miles from Tijuana; the Francene (July 29, 1967) and the Lily (September 10-12, 1967) passing at 200 and 160 miles; and most outstanding the Gwen (August 30, 1972), passing at only 40 miles from the coast. None of these hurricanes apparently damaged the coast despite the high waves they must have generated.

The goal of this paper is to find the cause of the erosive events at Playas de Tijuana, during 1975-1985.

METHODS

When strong winds blow towards the coast a storm surge is generated, and if it coincides with spring tides the waves will break at a higher level than normal, eroding higher parts of the coast, as happened in

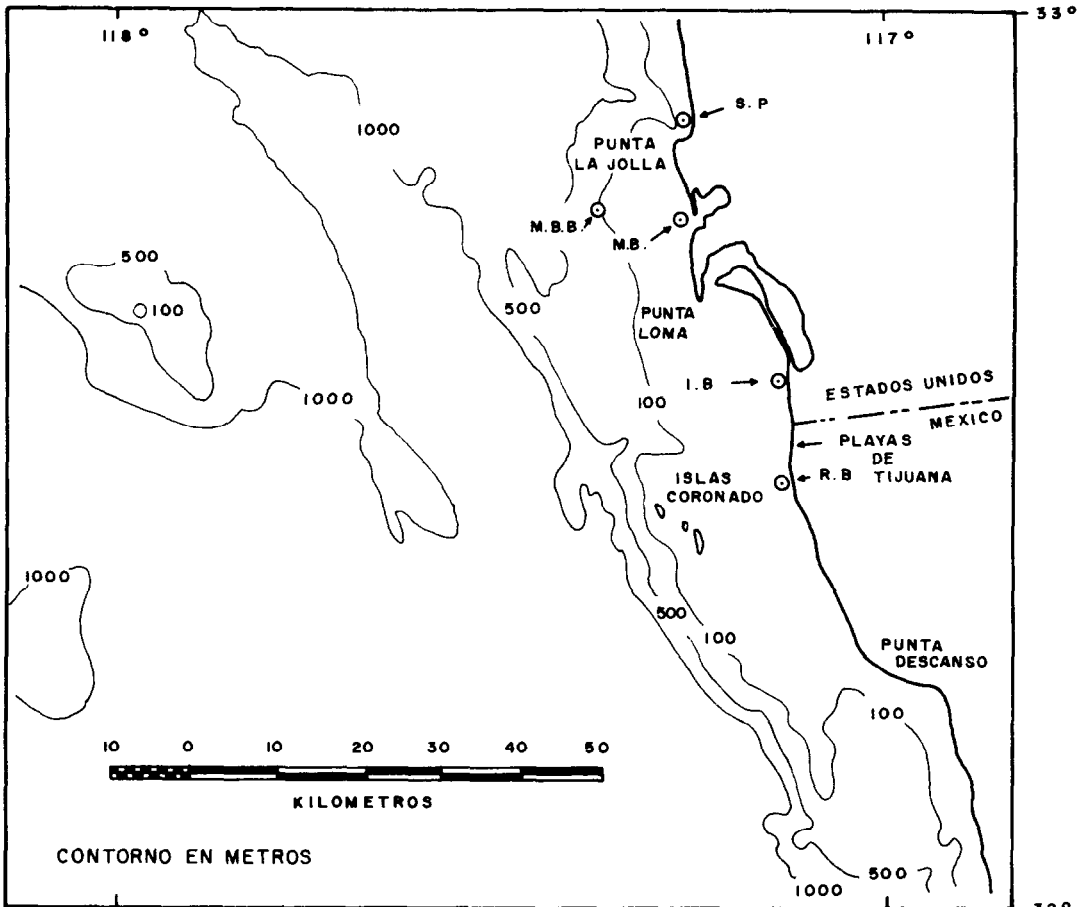


Figura 3. Localización del área y estaciones sensoras de olas. (SP) Scripps Pier, (MBB) Mission Bay Buoy, (MB) Mission Bay, (IB) Imperial Beach, del Coastal Data Information Program. (RB) Rosarito Beach de la Comisión Federal de Electricidad.

Figure 3. Playas de Tijuana location and wave sensor stations from the CDIP. Scripps Pier (SP), Mission Bay Buoy (MBB), Mission Bay (MB), Imperial Beach (IB); and from CFE, Rosarito Beach (RB).

menos de 5km de Tijuana son los menos continuos, sin embargo, siempre es posible interpolar en los huecos.

Seymour et al. (1978) muestran que la razón de alturas entre las estaciones IB y SP varía más o menos linealmente a lo largo del año debido a la dirección de incidencia del oleaje, la cual cambia con la época del año. Con base en lo anterior se hicieron regresiones lineales mensuales entre los datos de las estaciones IB vs MB, IB vs MBB e IB vs SP

Oregon during 1977-78 winter (Komar, 1978). This appears not to be the case at Playas de Tijuana since the predicted and actual sea levels did not show a significant difference (fig. 2).

The US west coast was severely damaged during the winter of 1977-78. It was not a single group of high waves that caused the most damage, but the sequence of several storms as pointed out by Dormurat (1978).

para los promedios diarios de alturas de oleaje de diciembre de 1975 a octubre de 1984 y se tomó la mejor correlación para predecir en las fechas donde no se tiene registro de la estación IB. Se impusieron dos criterios para dar por válida la predicción: primero, que el coeficiente de correlación fuera mayor de 0.7; y segundo, que el número de días para la correlación fuera mayor de 28.

Con los datos diarios interpolados se hicieron promedios corridos de cinco días de las raíces cuadráticas medias de las alturas (fig. 4). Se tomaron cinco días de acuerdo con el criterio de Dormurat (1978), y además de que cinco días es una escala de tiempo para medir una tormenta y su efecto. Para el año 1985 los datos de marzo, mayo y junio corresponden a la estación Rosarito (RB), BC de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) (1986), y el resto del año a la estación IB.

Otro aspecto importante referente al oleaje es su período, ya que de éste dependerá la altura del barrido ("run up") de la ola sobre la costa. La tabla I muestra el análisis del "run up" (metros) para los meses de ocurrencia de mayores alturas de ola de la figura 3. En la tabla, el renglón Hmax indica el mes de mayores alturas en el año; H es la altura máxima del mes de la figura 4; T es el período para esas olas; R es la elevación potencial máxima ("run up") si la pendiente fuera regular e impermeable. En nuestro caso como existen dos pendientes (la de la playa y la del cantil) y no son impermeables, R está sobrestimado. Pero por otro lado las alturas de la figura 4 están subestimadas ya que se han filtrado por el promedio diario y por el promedio corrido de cinco días. En febrero de 1978 ocurrió el evento que fue gatillo de una serie de eventos posteriores; por esto el último renglón R78/R, muestra la razón del "run up" de febrero de 1978 contra los demás años como comparación. Como no se cuenta con perfiles de playa anteriores a las erosiones, tomamos como pendiente de playa la que tiene actualmente y que es seis grados aproximadamente.

Por lo dicho en el párrafo anterior, los valores del "run up" no deben considerarse como relativos y no en su valor absoluto

Dormurat shows that the wave power in the winter of 1977-78 was greater than the 1975-76 and 1976-77 winters.

The SCRIPPS Institution of oceanography through the Coastal Data Information Program (CDIP) has gathered the most reliable wave data near the Playas de Tijuana zone (Seymour et al, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986). The closest wave stations to Playas de Tijuana are: Imperial Beach (IB), Mission Bay Buoy (MBB), Mission Bay (MB), and Scripps Pier (SP) (fig. 3). Although the IB data, located about 5km from Tijuana is the least continuous it is always possible to interpolate the gaps.

Seymour et al (1978) show that the wave height ratio of IB and SP varies almost linearly throughout the year in response to the wave incidence which changes throughout the year. Thus, we made daily mean wave height linear regressions among stations, i. e., IB vs MB, IB vs MBB and IB vs SP, from December 1975 to October 1984. The best correlation was used to predict the gaps when no data was available from the IB station. Two different criteria were used for prediction: first, a correlation coefficient higher than 0.7, and second, that the number of days for the correlation were more than 28.

Five day moving averages were made with the Hrms (fig. 4). Five days were chosen following Dormurat's criteria (1978), moreover it is an appropriate time scale for measuring a storm and its effects. The data for March, May and June, 1985 is from the Rosarito (RB) wave station from the Comisión Federal de Electricidad (CFE) (1986).

The wave period is an important factor because the longer the period the higher the wave run up will be. Table I shows the wave run up analysis for the months of highest waves from figure 4. Hmax indicates the month of highest waves for the year; T is the correspondent wave period; R is the wave run up (assuming a regular and non permeable slope). On one hand R will be over estimated because we have two permeable slopes (beach and scarp), but on the other R will be

Gonzalez Calvillo, Cupul Magana - Causas de erosion

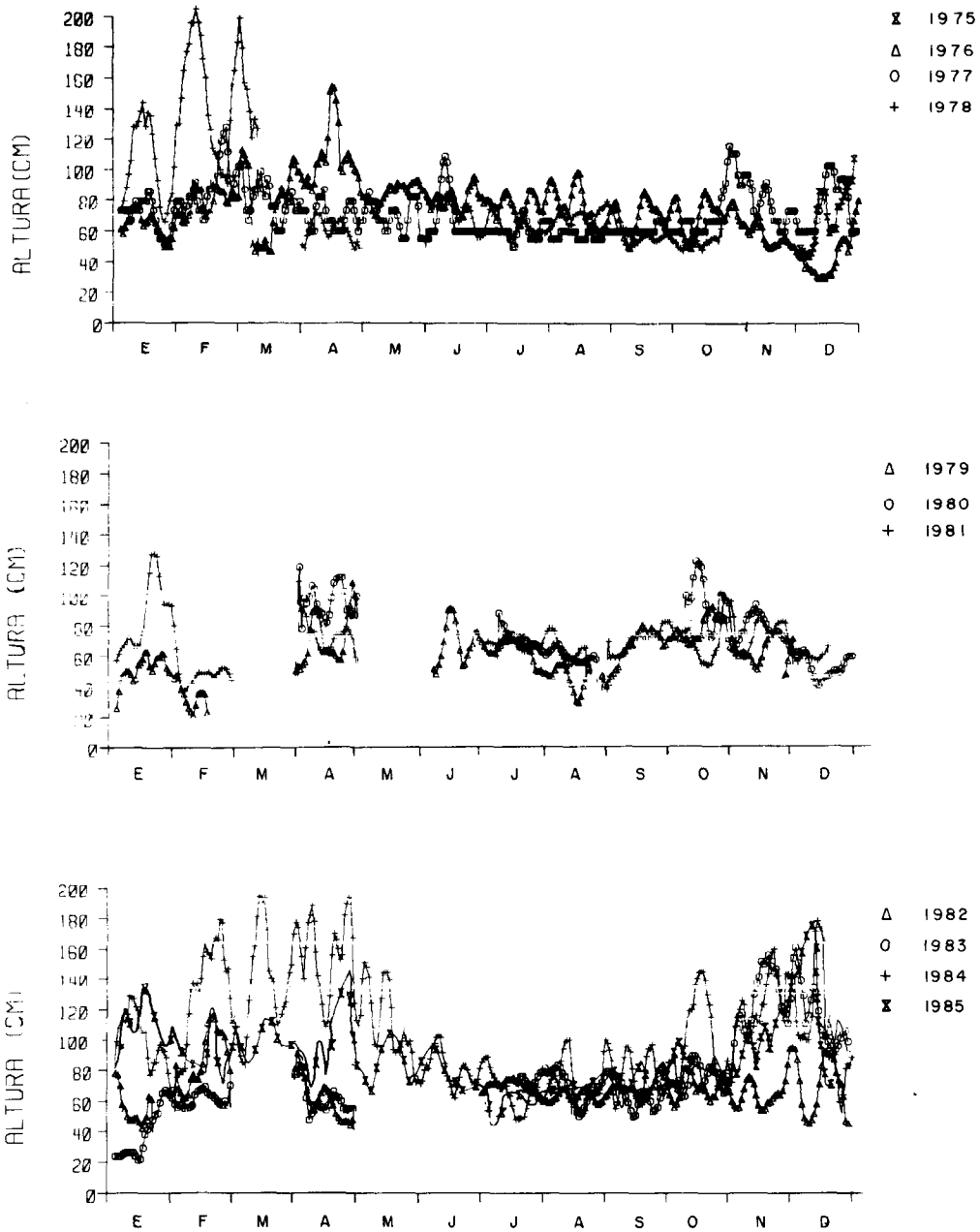


Figura 4. Promedios corridos de 5 días, de altura de oleaje medida e interpolada para las estaciones IB y RB, de 1975 a 1985.

Figure 4. Five days moving average of wave height measured and estimated at stations IB and RB from 1975 to 1985.

Tabla I Comparación del efecto "run up" durante el período 1975-1985. H es la altura, T el período, R es el "run up". R₇₈/R es la comparación del "run up" del mes de febrero 1978 con el de cada columna.

Table I Run up effect during 1975-1985. H is the wave height, T is the period, R is the run up. R₇₈/R is the radio between february 1978 and the month in each column.

Año	1975	1976	1977	1978	1978	1978
Hmax	DIC	ABR	FEB	ENE	FEB	MAR
H (m)	1.00	1.50	1.25	1.45	2.05	1.95
T (s)	14.0	13.0	16.0	15.0	15.0	15.0
R (m)	2.0	1.9	2.5	2.3	2.7	2.5
R ₇₈ /R	1.4	1.4	1.1	1.2	1.0	1.1
Año	1979	1984	1980	1981	1982	1983
Hmax	ABR	ABR	OCT	ENE	FEB	NOV-DIC
H (m)	1.05	1.20	1.20	1.30	1.20	1.55
T (s)	9.0	9.0	16.0	9.0	8.0	9.0
R (m)	1.2	1.3	2.0	1.3	1.1	1.4
R ₇₈ /R	2.3	2.1	1.4	2.1	2.5	1.9
Año	1984	1984	1985	1985	1985	VERANO
Hmax	MAR	ABR	MAR	MAY	DIC	AGO
H (m)	1.90	1.80	1.10	1.10	1.70	0.70
T (s)	14.0	9.0	12.0	14.0	11.0	8.0
R (m)	2.4	1.4	1.6	1.8	2.0	0.9
R ₇₈ /R	1.1	1.9	1.7	1.5	1.4	3.0

aunque su estimación, suponemos, es razonable. En la última columna de la tabla I se muestra, como comparación únicamente, el "run up" que tendría una ola durante condiciones no de tormenta, es decir, con una ola de 70cm y un período de 8s.

También, de primordial importancia, es el balance o transporte neto de sedimentos. Referente a esto no hay un acuerdo general ya que algunos autores como Shepard (1950) indican que el transporte de arena en las cercanías de la frontera es hacia el norte; y otros como Chamberlain et al (1958), Inman (1980) y Shaw (1980) indican que al norte del delta del Río Tijuana (Imperial Beach) el transporte es hacia el norte, y al sur del delta (Playas de Tijuana) es hacia el sur, a una razón de $460 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$. Seymour et al. (1984, 1985, 1986) encuentran que el transporte en IB es hacia el norte y del orden de $200 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$. En lo que si concuerdan todos los autores es en la falta de información estadística confiable sobre altura y dirección de oleaje para poder evaluar tanto los efectos del oleaje como el transporte litoral.

underestimated because heights from figure 4 are underestimated due to the daily means and five day moving average. The last row (R₇₈/R) shows the run up ratio between February 1978 and the rest of the compared months. Since no beach profiles before the erosions are available we will use the actual one which is about six degrees.

The run up values should not be taken as absolutes but as relatives, however we believe it to be a reasonable estimation. The last column of table I shows the potential wave run up of non storm conditions, with a 70cm height and 8s period.

Also important is the sediment budget. There is no agreement on this. Some authors such as Shepard (1950) find a northward sand transport close to the Mexican border; others (Chamberlain et al, 1958; Inman, 1980; Shaw, 1980) find a northward sand transport north of the Río Tijuana delta (Imperial Beach), and a southward sand transport south of the delta (Playas de Tijuana) at a rate of $460 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{yr}$. Seymour et al (1984, 1985,

La playa, que actúa como amortiguador entre la costa y el oleaje, recibe su aporte principalmente de los ríos. El delta del Río Tijuana recibía su aporte de los afluentes Cotton Wood Creek en EUA y Río de las Palmas en Tijuana. Aunque no existen mediciones de las descargas de sedimento, éste se ha estimado aproximadamente en $550 \times 10^3 \text{m}^3/\text{año}$ mientras que las razones de azolvamiento en las presas Morena, Barret y Rodríguez dan cifras superiores a esa (Inman, 1980). Lo anterior demuestra la efectividad de las presas en detener el sedimento antes de que alcance las playas. El poco sedimento que no es retenido en las presas se queda en las marismas del delta Tijuana sin llegar a la playa, la cual pierde terreno al mar a una razón de $460 \times 10^3 \text{m}^3/\text{año}$.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

La falta de mediciones de los diferentes parámetros tanto meteorológicos como oceanográficos y sedimentológicos (excepto mareas) por la Urbanizadora de Tijuana, no permite determinar en forma precisa las causas de erosión en Playas de Tijuana. Como se puede ver a partir de los resultados, los datos usados en este trabajo son estimaciones aproximadas de mediciones en lugares cercanos; sin embargo nos permite evaluar de manera razonable las diferentes causas de erosión, y por eliminación, determinar las más probables.

El viento y las mareas se pueden eliminar, ya que los registros de la estación de mareografía de la UNAM no muestran diferencia significativa con las predicciones hechas por el CICESE, lo que indica que no hay sobre-elevaciones del nivel del mar debidas al esfuerzo del viento y las tormentas.

Respecto al oleaje, ya se ha hecho notar que es la persistencia o secuencia de una serie de tormentas lo que ocasiona mayores daños que la altura excepcional de un grupo de olas, ya que lo primero no permite la recuperación gradual de las playas. De la figura 4 se puede observar que el primer trimestre de 1978 se caracterizó por la persistencia de tormentas con olas de gran energía que en algunos casos impidieron la operación de algunas estaciones

1986) find, on the other hand, a northward transport about $200 \times 10^3 \text{m}^3/\text{yr}$. The lack of reliable wave statistics and its effects is one thing all authors agree on.

Beaches act as a buffer between the waves and the coast. The Río Tijuana delta was nourished by the Cotton Wood (USA) and De Las Palmas (MEX) rivers. Although this river's bed load has been estimated at $550 \times 10^3 \text{m}^3/\text{yr}$, the Morena, Barret and Rodríguez dams sand entrapment is higher than this figure. This demonstrates the effectiveness of the dams in retaining sediment. The marshes on the delta entrap the little sediment that is not retained by the dams before it reaches the beach, thus causing a beach retreat at a rate of $460 \times 10^3 \text{m}^3/\text{yr}$.

RESULTS AND DISCUSSIONS

The exact causes of erosion can not be properly assessed because no oceanographical, sedimentological nor meteorological parameters (others than tides) have been measured by the Urbanizadora de Tijuana (Playas de Tijuana Development Co.). The data used in this paper is an estimation from direct measurements near the zone. However it is possible to reasonably evaluate the most probable causes of erosion.

We can eliminate the tides and wind as probable factors of erosion because there is no significant difference between the CICESE predictions and the UNAM tide records. This shows that no significant storm surge is generated.

It has already been stated that it is not isolated high waves but the sequence of several storms that causes the most damage to the beach, because this way no natural beach restoration is permitted by the waves. 1978's first quarter (fig. 4) was noted for its series of high wave storms which in some cases unable wave stations to operate, thus triggering a series of erosive events that would destroy Playas de Tijuana.

The highest waves of the analyzed period occurred during 1983-84 and 1985-86 winters.

sensores de oleaje e iniciaron la serie de eventos erosivos que destrozaban Playas de Tijuana.

El invierno 1983-84 trajo consigo las olas de mayor energía de entre los años que se comparan en este trabajo. También el invierno 1985-86 (hasta febrero 1986) ha sido de tormentas continuas.

El efecto del "run up" también ha sido determinante en la erosión, ya que el lamido de la ola se desliza pendiente arriba de la playa, alcanza el cantil de material de relleno y lo erosiona. Como el material de relleno es arcilloso, éste no se quedará en la playa sino que se perderá hacia el mar. En una secuencia de tormentas como en enero y febrero de 1978, enero de 1981, enero, febrero y marzo de 1984 y diciembre, enero y febrero de 1985-86, que corresponden a cuatro de los eventos más destructivos, con duraciones de dos a tres semanas, es de esperar que abarque al menos dos ciclos de mareas vivas. Durante estos períodos se conjuntan, primero: olas de alta energía que transportan arena hacia el mar y por lo tanto reducen el ancho de playa que sirve como amortiguador sin dar tiempo a la recuperación de la playa; segundo, el efecto del "run up" será mayor al llegar olas altas sobre mareas vivas ya que durante el invierno son las mayores del año, y; tercero, al no haber aporte de material por el Río Tijuana la playa tiene que esperar hasta los meses de junio a septiembre (fig. 4) para su recuperación, y además hay material de la playa que abandonó el sistema y se transportó a lo largo de la misma playa, y material de relleno que se perdió mar adentro.

Lo dicho anteriormente trae por consecuencia que la playa esté retrocediendo a causa del material que no se repone de forma natural.

ALTERNATIVAS DE SOLUCION

En las condiciones presentes no es posible dar soluciones con buenas probabilidades de éxito, sin embargo, pueden evaluarse las posibles soluciones. Podemos enumerar tres tipos de obras que normalmente se usan en este tipo de problemas.

The wave run up has played an important role in eroding the fill material of the scarp. The silty material will be lost offshore. During a sequence of storms two or three weeks long at least one or two spring tides will occur. These conditions were present in Jan-Feb 1978, Jan 1981, Jan-Mar 1984 and Dec-Feb 1985-86 which correspond to four of the greatest erosive episodes of Playas de Tijuana. During these periods we have: first, high waves eroding the beach carrying the sand offshore; second, the wave run up will be greater with higher waves overlapping the spring tides and; third, the natural beach restoration has to wait until the summer months (fig. 4) because no sand is being supplied to the beach by the river and sand has already been lost offshore and probably part of it is being transported longshore. All of the factors mentioned above cause a beach retreat because no sand is being supplied in a natural form to the beach.

PROTECTIVE METHODS AND OPTION

Solutions with high success probabilities cannot be given at this time. However, we can evaluate different options. There are three methods that are often used with this kind of problem:

Bulkheads and seawalls: This would be an immediate step in stopping the beach retreat, but the touristic attraction would be lost with time. Seawalls stop erosion just in front of the structure itself. However, Playas de Tijuana is 5km long and it would be too expensive to try to protect this beach length.

Groins: The use of groins has not worked properly at Imperial Beach nor Silver Strand, apparently because not enough longshore sand transport is available due to the lack of sand supply from the Río Tijuana. As we said before there is no agreement on the direction of longshore sand transport in front of Playas de Tijuana. Thus we will discuss north and south possibilities. If longshore sand transport were to the south, no adequate sand supply would be available to fill the groins, providing the supply come from the delta. In this case Point Costa Azul (south of Playas de Tijuana) would act as a natural groin. The erosion has had little or no effect on the

Muros: Sería una solución inmediata al retroceso de la costa pero además del elevado costo de este tipo de estructuras se perdería, con el tiempo, el atractivo turístico de la playa. El muro sólo resuelve el problema enfrente del mismo, y Playas de Tijuana tiene una longitud de playa de 5km lo que haría demasiado costoso este tipo de estructuras.

Espigones: El uso de espigones para atrapar sedimento que se mueve a lo largo de la playa no ha dado resultado en Imperial Beach y Silver Strand, EUA, al parecer por la falta de transporte a lo largo de la costa debido a su vez a la falta de abastecimiento de material por el Río Tijuana. Frente a Playas de Tijuana como ya dijimos, no existe acuerdo sobre si el transporte litoral es hacia el norte o el sur, así que evaluaremos ambas posibilidades. Si el transporte fuera hacia el sur, y como la playa proviene del delta del río, al no haber un abastecimiento adecuado de material los espigones no cumplirían con su función. No obstante, la punta rocosa al sur de Playas de Tijuana (Punta Costa Azul) actúa como un espigón natural. La parte sur del fraccionamiento no se ha visto afectada como la parte norte, probablemente sea por el efecto amortiguador de la playa adyacente a la punta. Si el transporte fuera hacia el norte probablemente el uso de espigones frenaría el retroceso de la costa. En ambos casos se debe primero cuantificar el transporte a lo largo de la costa para evaluar la efectividad de retención de los espigones.

Alimentación artificial de las playas: Otro método usado es el de colocar arena de algún banco de material sobre la playa que se piensa restaurar. Para esto se necesitan el mismo tipo de estudios que para los espigones; es decir, evaluar el transporte litoral de arena a lo largo y perpendicular a la playa, más la evaluación de bancos de arena potencialmente explotables para abastecer la playa, que reúnan las condiciones de tamaño y clasificación adecuados.

CONCLUSIONES

De acuerdo con la información disponible parece ser que la falta de aporte de material por el Río Tijuana, ha hecho que el

southernmost part of Playas de Tijuana probably because of the buffer effect of the beach adjacent to Point Costa Azul which acts as a natural groin. If sand transport were northward the use of groins would slow beach erosion. In both cases an appropriate estimation of longshore sand transport should be made if proper function of the groins is desired.

Beach nourishment: Placing sand on the beach is an alternate method if beach restoration is desired. In this case the above mentioned studies plus potential sandspits with appropriate sand size and sorting characteristics are needed.

CONCLUSIONS

It appears that the lack of sand supplied by the Río Tijuana caused a decrease of the delta, thus eroding Imperial Beach (USA) and Playas de Tijuana (MEX) as is schematically depicted in figure 5. If the above is true, the coast erosion will continue if no adequate actions are taken.

If no sandspit for beach nourishment is found (this seems to be the case), and if no longshore sand transport is found either, an alternate action would be to relocate habitational and business areas into the parks and viceversa letting the erosion to continue until a more suitable action is taken. This, of course, would lead us into another problem:

Urban Ecology.

It is extremely important to obtain statistical wave records and estimate littoral sand transport in the zone before any decision is made.

Each erosive event has been triggered (table I and fig. 4) by: (a) two or three continuous storms causing offshore sand transport, (b) erosion of beach material by long period high waves resulting in a permanent loss of fill material because of its inadequate selection.

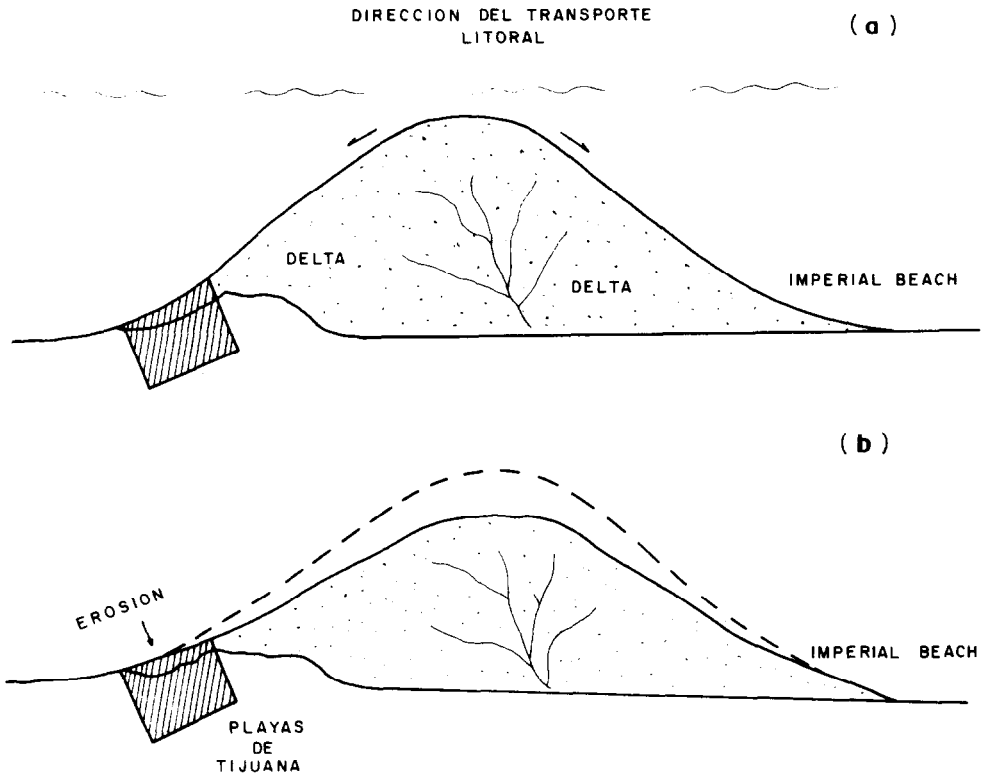


Figura 5. Evolución hipotética del delta del Rfo Tijuana: (a) antes de la erosión; (b) después de la erosión.

Figure 5. Hypothetical evolution of the Rfo Tijuana delta: (a) before erosion; (b) after erosion.

delta disminuya y produzca erosión tanto en Imperial Beach (EUA) como en Playas de Tijuana (México) (fig. 5). Si esta hipótesis es cierta el retroceso de la línea de costa continuará y se hará cada vez más drástico si no se toman medidas para evitarlo.

En caso de no existir un transporte potencial de arena a lo largo de la playa ni haber un banco de material para alimentarla artificialmente (y al parecer no lo hay), una medida de solución temporal sería reubicar las zonas dañadas hacia las zonas verdes del fraccionamiento, y mover las áreas verdes hacia la orilla del mar y dejar que se erosionen, aunque esto nos llevaría hacia otro problema: la ecología urbana.

ACKNOWLEDGMENTS

To Dr. Richard Seymour from SCRIPPS Institution of Oceanography for providing us with the Coastal Data Information Program wave statistics.

To Oc. Mario L. Marmolejo from the Comisión Federal de Electricidad (MEX), for providing us with the Rosarito, Baja California wave statistics.

To the Secretaría de Educación Pública and the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología for their grants.

The author translated this paper into English.

En cualquier caso o para cualquiera de las decisiones que se tomen es indispensable contar con registros estadísticos de oleaje en la zona, así como evaluar el transporte litoral de sedimentos.

Aunque la causa principal del retroceso de costa sea la disminución del delta del Río Tijuana, se puede observar en la tabla I y en la figura 4, que los eventos erosivos se han activado por: primero, sucesión de dos o tres tormentas provocando transporte hacia mar adentro; segundo, erosión del material de relleno por oleaje alto de períodos largos provocando pérdida del material debido a una mala selección del mismo.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Richard Seymour de SCRIPPS Institution of Oceanography (EUA), por proveernos las estadísticas de oleaje del Coastal Data Information Program.

Al Oc. Mario Marmolejo Lara de la Comisión Federal de Electricidad (México), por proveernos las estadísticas de oleaje de Rosarito, BC.

A la Secretaría de Educación Pública y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por su apoyo financiero parcial a este trabajo.

LITERATURA CITADA

CHAMBERLAIN K Horer and P L and Inman D L (1958) Analysis of littoral processes for dredge fill, Carrier Berthing Facilities, Naval Air Station, North Island, San Diego, California. Unpublished report prepared by Marine Advisers, Inc., La Jolla, California, 41pp.

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (1986) Estadísticas de oleaje en Rosarito, BC Subgerencia de Ingeniería Preliminar Civil y Geotermia. Estudios Oceanográficos. Reporte sin publicar, 100pp.

DORMURAT G (1978) Selected coastal storm damage in California, winter of 1977-78. Shore and Beach, 46(3):15-20.

INMAN D L (1980) Summary report of: Man's impact on the California coastal zone. Report prepared for: Department of Boating and Waterways. State of California, The Resources Agency, 150pp.

KOMAR P D (1978) Wave conditions on the Oregon coast during the winter of 1977-78 and the resulting erosion of Nestuca Spit. Shore and Beach, 46(10):3-8.

LUNA BAUZA C (1973) Huracanes en el Océano Pacífico y en el Océano Atlántico. Centro de previsión del Golfo de México. Secretaría de la Presidencia. CETENAL. 48pp.

SEYMOUR R J Sessions M H Wald S L Woods A E (1976) Coastal Engineering Data Network. First Semi-annual report. December 1975 - June 1976. Sea Grant publication 50. 72pp.

SEYMOUR R J Sessions M H Wald S L Woods A E (1977) Coastal Engineering Data Network. Second Semi-annual report. July 1976 - December 1976. Sea Grant publication 56. 132pp.

SEYMOUR R J Sessions M H Wald S L Woods A E (1978) California Coastal Engineering Data Network. Second Annual report. January 1977 - December 1977. State of California Resources Agency. Department of Navigation and Ocean Development, 123pp.

SEYMOUR R Castel D Sessions M H Woods A E (1979) California Coastal Engineering Data Network. Third Annual report. January 1978 - December 1978. State of California Resources Agency. Department of Boating and Waterways, 105pp.

SEYMOUR R J Thomas J O Castel D Woods A E Sessions M H (1980) California Coastal Data Collection Program. Fourth Annual report. January 1979 - December 1979. US Army Corps of Engineers. California. Department of Boating and Waterways, 121pp.

Gonzalez Calvillo, Cupul Magana- Causas de erosion

SEYMOUR R J Thomas J O Castel D Woods A E Sessions M H (1981) California Coastal Data Collection Program. Fifth Annual report. January 1980 - December 1980. US Army Corps of Engineers. California. Department of Boating and Waterways, 148pp.

SEYMOUR R J Thomas J O Castel D Woods A E Sessions M H (1982) California Coastal Data Collection Program. Sixth Annual report. January 1981 - December 1981. US Army Corps of Engineers. California. Department of Boating and Waterways, 190pp.

SEYMOUR R J Thomas J O Castel D Woods A E Sessions M H (1983) California Coastal Data Collection Program. Seventh Annual report. January 1982 - December 1982. US Army Corps of Engineers. California. Department of Boating and Waterways, 195pp.

SEYMOUR R J Thomas J O Castel D Woods A E Sessions M H (1984) California Coastal Data Information Program. Eighth Annual report. January 1983 - December 1983. US Army Corps of Engineers. California. Department of Boating and Waterways, 207pp.

SEYMOUR R J Thomas J O Castel D Woods A E Sessions M H (1985) California Coastal Data Information Program. Ninth Annual report. January 1984 - December 1984. US Army Corps of Engineers. California. Department of Boating and Waterways, 220pp.

SEYMOUR R J Thomas J O Castel D Woods A E Sessions M H (1986) California Coastal Data Information Program. Tenth Annual report. January 1985 - December 1985. US Army Corps of Engineers. California. Department of Boating and Waterways, 230pp.

SHAW M J (1980) Artificial sediment transport and structures in coastal southern California. SCRIPPS Institution of Oceanography. Reference No. 80-41, 109pp.

SHEPARD F P (1950) Longshore currents observations in southern California. SCRIPPS Institution of Oceanography. Ref. No. 456. US Army Corps of Eng. Beach Erosion Board Technical Memo, No. 13, 54pp.