

## **DEFINICION DE ZONAS DE RIESGO POR EROSION E INUNDACION EN LA BAHIA DE TODOS SANTOS, BAJA CALIFORNIA, MEXICO**

### **DEFINITION OF EROSION AND INUNDATION HAZARD ZONES IN TODOS SANTOS BAY, BAJA CALIFORNIA, MEXICO**

Francisco Javier Montoya Turrillas  
Lorenzo Gómez-Morín Fuentes

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

*Ciencias Marinas* (1991), Vol. 17, No. 2, pp. 25-36.

#### **RESUMEN**

Se realizó la predicción del retroceso de la línea de costa con base en la elevación del nivel del mar, considerando tres escenarios proyectados de 0.5, 1.0 y 1.5 metros, y se obtiene la componente local de elevación del nivel del mar para la bahía de Todos Santos, Baja California.

Posteriormente, se aplicó la "Regla de Brunn" con ciertas modificaciones para calcular el retroceso de la línea de costa en el período de 1983-2100. Tomando en cuenta los escenarios de la futura elevación y las características geomorfológicas de la costa, se definió la zona que presenta riesgo de erosión e inundación, indicándose las recomendaciones para la planificación del desarrollo en esta zona.

#### **ABSTRACT**

A prediction of coastline retreat was made based on relative sea level rise, considering three projected scenarios of 0.5, 1.0 and 1.5 meters, obtaining also the local component of sea level rise for Todos Santos Bay, Baja California.

The "Brunn Rule" was applied with certain modifications, to calculate the coastline retreat from 1983 to 2100. Taking into account the sea level rise scenarios and the geomorphologic characteristics of the coast, the erosion and inundation hazard zones were defined, pointing out the recommendations for the development planning of the area.

#### **INTRODUCCION**

Las zonas costeras del mundo representan una de las regiones más variables y complejas de nuestro planeta, pues forman la única interfase entre los tres principales ambientes de la tierra: los continentes, el océano y la atmósfera.

Al considerar la variabilidad y fragilidad de la línea de costa, necesitamos entender las fuerzas que las modifican y cómo responde a ello esta frontera. Los conocimientos que se tienen sobre la interacción compleja entre la

#### **INTRODUCTION**

The world's coastal zones represent one of the most variable and complex regions of our planet, since they form the only interface between the three principal land environments: the continents, the ocean and the atmosphere.

Upon considering the variability and fragility of the shoreline, we need to understand the powers that modify them and how this frontier responds to them. The data that exists on the complex interaction between

atmósfera, océano y masas de tierra, son aún incompletos. Solamente al entender la dinámica natural de la zona costera, podremos administrar inteligentemente los recursos limitados y frágiles, que separan al continente del océano (Aubrey, 1981).

Los huracanes y tormentas son pruebas de la debilidad y vulnerabilidad de las playas; estos fenómenos, combinados con las elevaciones locales en el nivel del mar, condenan a muchas playas a retroceder, acelerando los daños a las costas durante los huracanes y tormentas (Aubrey, 1981).

Recientemente se ha prestado mucha atención al "efecto de invernadero", como un fenómeno importante en la variación de la temperatura del planeta. Este fenómeno se debe al aumento en la concentración de bióxido de carbono y otros gases en la atmósfera debido a la actividad industrial, la quema de combustibles fósiles, una progresiva deforestación, etc., todo lo cual se especula puede producir un sobrecalentamiento en la atmósfera, que repercutirá entre otras, en una desglaciación de la Antártica y la expansión termal de la primera capa de agua en los océanos, que finalmente producirá un incremento en el nivel del mar (Lowenstein, 1985).

Actualmente se tienen estudios de predicción de la elevación en el nivel del mar, entre los que se encuentran el de Hoffman *et al.* (1983), Barth y Titus (1984), Everts (1985) y Thomas (1986). Las áreas costeras tienen una gran demanda como recurso natural para el desarrollo de los centros urbanos, industriales, comerciales, turísticos, recreativos, etc., de aquí que sea de gran importancia estudiar las causas del retroceso de la línea de costa, como la elevación del nivel del mar, que produce un incremento en los riesgos naturales por erosión o inundación en esta zona.

## ANTECEDENTES

Los estudios de retroceso de la línea de costa en función de la elevación en el nivel del mar son muy variados, y se pueden señalar, entre otros, los de Brunn (1962), Weggel (1979), Dolan y Hayden (1981) y Orrin y William (1981), en donde se proponen metodologías para la estimación de los movimientos de la línea de costa, así como el mapeo de zonas de riesgo por erosión o inundación.

Asimismo, recientemente se han publicado varios trabajos sobre el riesgo que

the atmosphere, ocean and land masses are still incomplete. Only upon understanding the natural dynamics of the coastal zone will we be able to intelligently administer the limited and fragile resources that separate the continent from the ocean (Aubrey, 1981).

Hurricanes and storms are proof of the weakness and vulnerability of the beaches; these phenomena, combined with the local sea level rises, condemn many beaches to retreat, accelerating damage to the coasts during hurricanes and storms (Aubrey, 1981).

Recently, much attention has been paid to the "greenhouse effect", being an important phenomenon in the variation of the planet's temperature. This phenomenon is due to the increase in the concentration of carbon dioxide and other gases in the atmosphere due to industrial activity, the burning of fossil fuels, a progressive deforestation, etc., all of which is speculated to be able to produce an overheating in the atmosphere, that will have as an effect, among others, a deglaciation of the Antarctic and the thermal expansion in the first layer of the ocean's water, that finally will produce an increase in the sea level (Lowenstein, 1985).

Currently, there are prediction studies on the sea level rise like those of Hoffman *et al.* (1983), Barth and Titus (1984), Everts (1985) and Thomas (1986). The coastal areas are in great demand as a natural resource for the development of urban, industrial, commercial, touristic, recreational, etc., centers; therefore, it is of great importance to study the causes of the shoreline retreat, such as the sea level rise, that produces an increase in the natural hazards by erosion or inundation in this zone.

## ANTECEDENTS

The studies of shoreline retreat as a function of sea level rise are very diverse and, among others, those of Brunn (1962), Weggel (1979), Dolan and Hayden (1981) and Orrin and William (1981) can be mentioned, in which methodologies are proposed to estimate the movements of the shorelines, along with the mapping of zones at risk to erosion or inundation.

In the same manner, various studies have recently been published on the risk that

presenta el "efecto de invernadero" sobre las costas del mundo, como el trabajo de Bird (1986), EPA (1986) y Wilcoxon (1986), en donde se señalan no solo las metodologías para el cálculo de la erosión, sino las implicaciones económicas que conlleva este fenómeno.

En la bahía de Todos Santos, Baja California, México, se han llevado a cabo varios trabajos sobre el cálculo y la dirección de la deriva litoral, reportados por Lizárraga-Arciniega (1976), Pérez-Higuera y Chee-Barragán (1984), Rubio-Ortiz (1987) y Castellón-Alvarez (1988), en donde se señalan los patrones de circulación costera, así como los volúmenes de sedimento transportado en las costas de la bahía.

El presente estudio tiene como objetivo predecir el retroceso de la línea de costa en la bahía de Todos Santos, B.C., para el período 1983-2100 en función de la elevación relativa en el nivel medio del mar.

## METODOLOGIA

El área de estudio es una playa arenosa de aproximadamente 7.5 km de longitud, que se encuentra ubicada en la zona costera central de la bahía de Todos Santos, B.C., y colinda al norte con el arroyo El Gallo y al sur con la boca del estero de Punta Banda (Fig. 1).

En la determinación de la futura posición de la línea de costa, primero se deben realizar los cálculos de elevación relativa del nivel del mar, tomando en cuenta que en virtud de la incertidumbre con respecto al cambio en el nivel del mar, se consideraron los tres escenarios posibles reportados por el National Research Council (NRC, 1987) para el año 2100, de 0.5, 1.0 y 1.5 m de elevación. Si se comparan estos datos con los de otros autores como Hoffman *et al.* (1983) y Robin (en NRC, 1987), se observa que sus resultados fluctúan alrededor de los escenarios considerados por el NRC (Fig. 2).

Para el cálculo de la elevación local del nivel del mar, se siguió la fórmula presentada en el reporte del NRC (1987):

the greenhouse effect presents to the world's coasts, like the studies of Bird (1986), EPA (1986) and Wilcoxon (1986), in which not only methodologies are presented to calculate erosion, but also the economic implications that go along with this phenomenon.

In Todos Santos Bay, Baja California, Mexico, various studies have been made on the calculation and the direction of the long-shore drift, reported by Lizárraga-Arciniega (1976), Pérez-Higuera and Chee-Barragán (1984), Rubio-Ortiz (1987) and Castellón-Alvarez (1988), where the coastal circulation patterns are shown along with the volumes of sediment transported along the coasts of the Bay.

The objective of the present study is to predict the shoreline retreat in Todos Santos Bay, B.C., for the period 1983-2100 as a function of the relative mean sea level rise.

## METHODOLOGY

The area of study is a sandy beach, approximately 7.5 km long, that is located in the central coastal zone of Todos Santos Bay, B.C. To the north it is adjacent to the stream El Gallo and to the south to the mouth of the Estero de Punta Banda (Fig. 1).

In determining the future position of the shoreline, first we must make the calculations of relative sea level rise taking into account that in virtue of the uncertainty with respect to the change in the sea level, three possible scenarios were considered as reported by the National Research Council (NRC, 1987) for the year 2100: 0.5, 1.0 and 1.5 m of elevation. If these figures are compared to those of other authors like Hoffman *et al.* (1983) and Robin (in NRC, 1987), it is observed that these results fluctuate around those scenarios considered by the NRC (Fig. 2).

In order to calculate the local sea level rise, the formula presented in the report by the NRC (1987) was followed:

$$T(t) = (0.0012 + M/1000)t + bt^2 \quad (1)$$

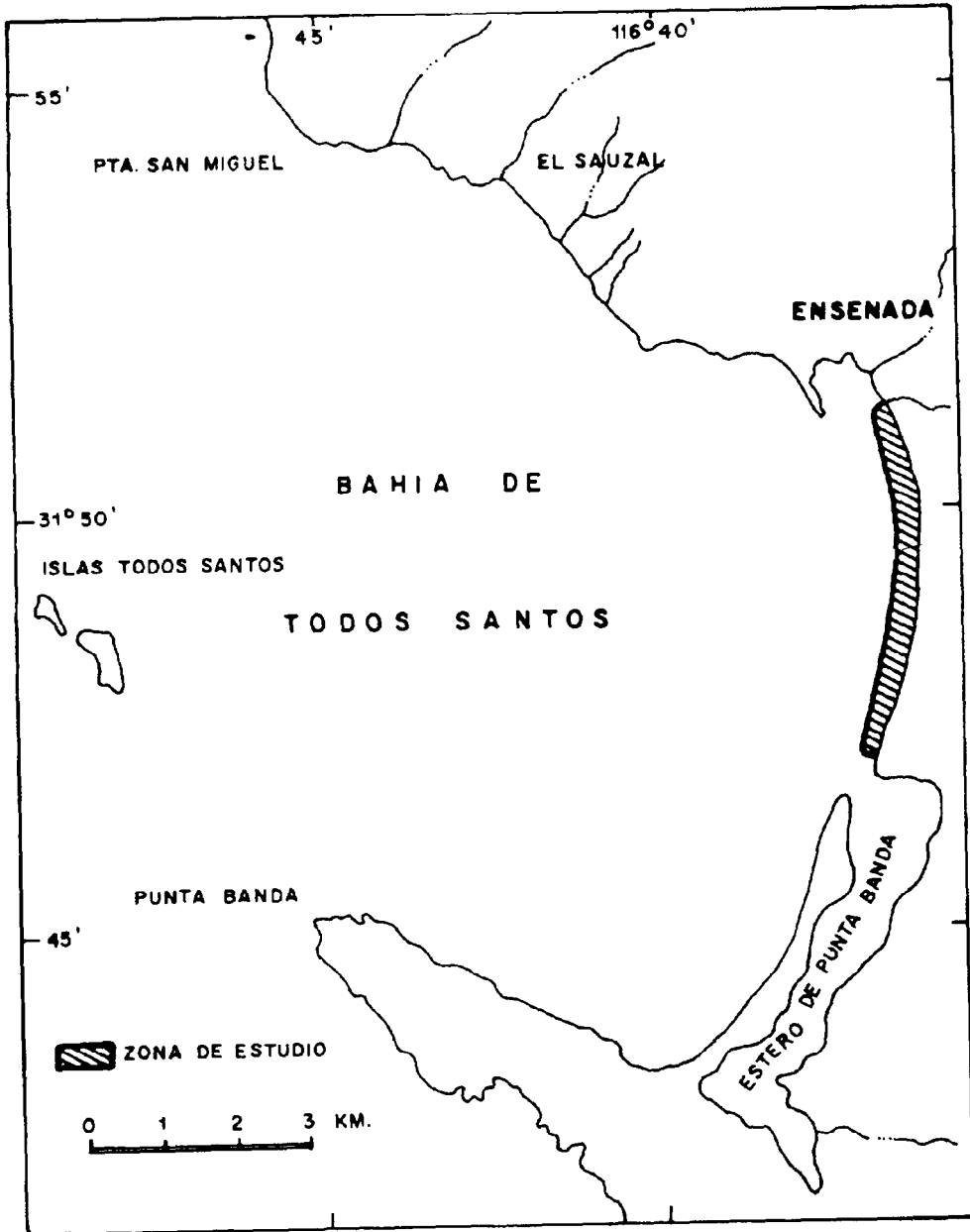
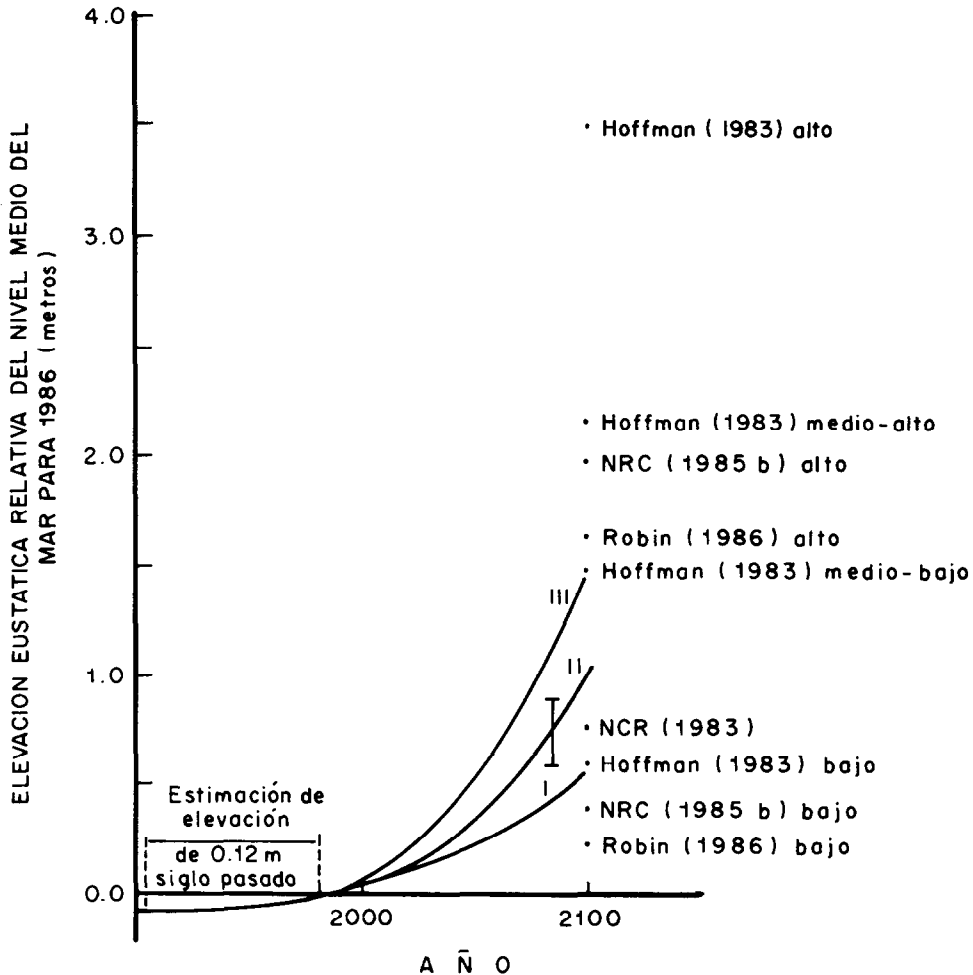


Figura 1. Area de estudio.  
Figure 1. Study area.



**Figura 2.** Elevación eustática del nivel medio del mar de los escenarios considerados en el estudio comparados con otras estimaciones (NRC, 1987).

**Figure 2.** Eustatic mean sea level rise of the scenarios considered in the study compared with other estimates (NRC, 1987).

en donde  $T(t)$  es el cambio relativo en el nivel del mar en función del tiempo,  $M$  es la constante en función de subsidencia y/o levantamientos tectónicos locales,  $b$  es el componente eustático y  $t$  es el tiempo.

La constante  $M$  para la zona de estudio se obtuvo de Godin *et al.* (1980) y Hicks *et al.* (1983), quienes analizaron registros de estaciones mareográficas instaladas en la bahía de Todos Santos y en el área de San Diego, respectivamente. El valor de dicha constante es de  $-0.0005$  m/año.

where  $T(t)$  is the relative change in the sea level in function with time,  $M$  is the constant depending on subsidence and/or local tectonic uplifting,  $b$  is the eustatic component and  $t$  is the time.

The constant  $M$  for the study zone was obtained from Godin *et al.* (1980) and Hicks *et al.* (1983), who analyzed records from marigraphic stations installed in Todos Santos Bay and in the area of San Diego, respectively. The value of this constant is  $-0.0005$  m/year.

Para la obtención del componente eustático ( $b$ ), se consideraron los datos presentados por el reporte del NRC (1987), para cada uno de los escenarios de elevación relativa del nivel del mar al año 2100:

Escenario de 0.5 m,  $b$  (m/año) = 0.000028  
 Escenario de 1.0 m,  $b$  (m/año) = 0.000066  
 Escenario de 1.5 m,  $b$  (m/año) = 0.000105

En la determinación del retroceso de la línea de costa se siguió la metodología propuesta por Weggel (1979), quien hace una revisión del modelo de Brunn (1962), para facilitar la obtención de las variables en la fórmula utilizada para obtener el retroceso de la línea de costa por elevación del nivel del mar. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$r = (b/d + s)(h) \quad (2)$$

en donde  $r$  es el retroceso de la línea de costa,  $b$  es la distancia horizontal desde la costa a la "profundidad de cierre",  $d$  es la altura de la cresta de la duna o del cambio fisiográfico más notable,  $s$  es la profundidad de cierre o la profundidad a la cual no es significativa la influencia del oleaje sobre los sedimentos de fondo o sobre los cambios del perfil de la playa, y  $h$  es el incremento local en el nivel del mar.

Es importante señalar que la profundidad de cierre se puede obtener a partir de los datos de planos batimétricos de la zona de estudio, mediante las aproximaciones calculadas según la metodología de Weggel (1979); una vez calculado este dato, se pueden obtener las variables  $d$  y  $b$ .

Wilcoxon (1986) aplica la metodología de Weggel (1979) con la variante de que el término de la ecuación,  $[b/(d+s)]$ , lo denomina como el "factor de retroceso". Este factor no es constante en una región en virtud de que la razón de la distancia desde la costa a la profundidad de cierre ( $b$ ) con respecto a la altura total del perfil costero ( $d+s$ ) puede variar considerablemente; cuando los valores del factor de retroceso son pequeños, significa que la profundidad de cierre está cercana a la costa y viceversa. El uso de este factor permite establecer diferentes simulaciones para el cálculo del retroceso de la línea de costa.

In order to obtain the eustatic component ( $b$ ), the figures presented in the report by the NRC (1987) were considered for each one of the scenarios of relative sea level rise to the year 2100:

Scenario of 0.5 m,  $b$  (m/year) = 0.000028  
 Scenario of 1.0 m,  $b$  (m/year) = 0.000066  
 Scenario of 1.5 m,  $b$  (m/year) = 0.000105

In order to determine the shoreline retreat we used the methodology proposed by Weggel (1979), who makes a revision in Brunn's model (1962), in order to facilitate the calculation of the shoreline retreat from sea level rise. The formula is the following:

where  $r$  is the shoreline retreat,  $b$  is the horizontal distance from the coast to the "closing depth",  $d$  is the height of the crest of the dune or the most notable physiographic change,  $s$  is the closing depth or the depth at which there is no significant influence from the waves on the bottom sediments or on the changes in the profile of the beach, and  $h$  is the local increase in the sea level.

It is important to note that the closing depth can be obtained from data from bathymetric charts of the study zone from the approximations calculated according to Weggel's methodology (1979); once this datum is calculated you can obtain the  $d$  and  $b$  variables.

Wilcoxon (1986) applies the methodology of Weggel (1979) with a variation that the term of the equation,  $[b/(d+s)]$ , is named as the "retreat factor". This factor is not constant in a region since the rate of the distance from the coast to the closing depth ( $b$ ) with respect to the total height of the profile of the coast ( $d+s$ ) can vary considerably; when the values of the retreat factor are small, it signifies that the closing depth is close to the coast and vice versa. The use of this factor permits the establishment of different simulations for the calculation of the shoreline retreat.

Los datos de profundidades se obtuvieron a partir de un mapa batimétrico de la bahía de Todos Santos para el año de 1983 (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1983).

## RESULTADOS Y DISCUSION

El pronóstico del retroceso de la línea de costa para la bahía de Todos Santos no puede considerarse como un dato concluyente, sino solamente como una estimación, en virtud de que su cálculo depende, entre otros, de factores como el "fenómeno de invernadero", que repercute directamente en las variaciones del nivel medio del mar.

Los escenarios presentados en este estudio son intervalos de aproximación debido a que no se pueden predecir con exactitud las variaciones globales del nivel del mar. Los resultados obtenidos en las elevaciones locales están definidos en función de la tendencia de los movimientos tectónicos regionales de acuerdo a los resultados publicados a la fecha (Tabla 1).

Como se puede observar en la Tabla 2, la combinación entre la elevación del nivel del mar y el factor de retroceso definido por Wilcoxon (1986), da como resultado nueve simulaciones con diferentes condiciones para cada año pronosticado. De acuerdo a lo anterior, se trabajó esta gama amplia de simulaciones para poder establecer, de acuerdo a la información disponible a la fecha, la zona considerada como de alto riesgo natural a la erosión e inundación.

Para el año 2000, el máximo retroceso esperado de la línea de costa (simulación 9) es de 4.1 m, y se va incrementando subsecuentemente hasta llegar al máximo retroceso para el año 2100 de 203 m, y el mínimo de 24; en este intervalo se encuentran las simulaciones más severas calculadas para los años 2025 y 2050. Este incremento notable responde a un incremento exponencial en la elevación del nivel del mar, de acuerdo a los escenarios considerados por NRC (1987). Cabe señalar que conforme suba el nivel del mar, se elevará también el riesgo natural de erosión e inundación por marejadas y tormentas.

Los resultados de retroceso de línea de costa para el año 2100 se presentan en la Figura 3, considerando tres simulaciones (1, 3, 9) que muestran un intervalo dentro del cual

The depth data were obtained from a bathymetric map of Todos Santos Bay for the year 1983 (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1983).

## RESULTS AND DISCUSSION

The prognostic of the shoreline retreat for Todos Santos Bay cannot be considered as a conclusive datum but only as an estimate, since its calculation depends, among others, upon factors such as the "greenhouse effect", that directly affects the variations of the mean sea level.

The scenarios presented in this study are intervals of the approximation due to the fact that global variations in the sea level cannot be predicted with exactness. The results obtained in the local rises are defined based on the tendency of the regional tectonic movements according to the published results to date (Table 1).

As it can be observed in Table 2, the combination between the sea level rise and the factor of retreat defined by Wilcoxon (1986), gives as a result nine simulations with different conditions for each year predicted. In agreement with that mentioned above, this wide gamma of simulations was studied in order to establish the zone considered to be of high natural risk to erosion and inundation, in agreement with the information available at the time.

For the year 2000, the maximum shoreline retreat expected (simulation 9) is 4.1 m, and it will subsequently increase until reaching the maximum retreat in the year 2100 of 203 m, and the minimum of 24; in this interval it is found that the most severe simulations are calculated for the years 2025 and 2050. This notable increase responds to an exponential increase in the sea level rise, in agreement with the scenarios considered by the NRC (1987). It is worth noting that as the sea level rises, the natural risk of erosion and inundation by tides and storms also rises.

The results of the shoreline retreat for the year 2100 are shown in Figure 3, considering three simulations (1, 3, 9) that show an interval within which preventive measures should be taken for the future development of the zone.

One thing considered in applying the method utilized in this study is that the beach

**Tabla 1.** Datos de la elevación local total del nivel medio del mar (en metros) para la bahía de Todos Santos, B.C., México.

**Table 1.** Data of the total local mean sea level rise (in meters) for Todos Santos Bay, B.C., Mexico.

Año	Escenario (m)	Elevación total (m)
2000	0.5	0.0184
	1.0	0.0239
	1.5	0.0295
2010	0.5	0.0399
	1.0	0.0583
	1.5	0.7720
2025	0.5	0.0827
	1.0	0.1347
	1.5	0.1880
2050	0.5	0.1820
	1.0	0.3280
	1.5	0.4779
2100	0.5	0.4855
	1.0	0.9622
	1.5	1.4510

deben de tomarse las medidas preventivas a futuro para el desarrollo de la zona.

Una de las consideraciones para aplicar el método utilizado en este trabajo, es que la playa objeto de estudio esté en equilibrio con respecto a los procesos de sedimentación. En vista de lo anterior, los resultados de Lizárraga-Arciniega (1976) y Castellón-Alvarez (1988) muestran que la zona norte del área de estudio se ve influenciada por el patrón de difracción del oleaje por el rompeolas del puerto de Ensenada, produciendo una deriva litoral hacia el norte, que al arribar a los espigones de protección del puerto provoca un proceso de sedimentación, con la consecuente progradación de la línea de costa. Para una estimación adecuada de la posición futura de la línea de costa en esta área, se requiere de un estudio que determine la posición de equilibrio de la misma por el aporte de la deriva litoral.

Es importante señalar que aun cuando la playa norte se encuentre en un proceso de sedimentación activa, lo más seguro es que el retroceso causado por la elevación en el nivel

subject of the study is in equilibrium with respect to the sedimentation processes. In view of the above, the results of Lizárraga-Arciniega (1976) and Castellón-Alvarez (1988) show that the northern zone of the study area seems to be influenced by the wave diffraction pattern caused by the breakwater in the port of Ensenada, producing a longshore drift towards the north, which upon arriving at the protective jetties of the port, provokes a sedimentation process with the consequent progradation of the shoreline. In order to adequately estimate the future position of the shoreline in this area, another study is required to determine the equilibrium position of the same due to the source of the longshore drift.

The panorama for the southern portion of the beach until the mouth of the Estero de Punta Banda is different; in this zone a net erosion has been determined, in agreement with that reported by Castellón-Alvarez (1988), for which a shoreline retreat caused by the sea level rise will be added to this process

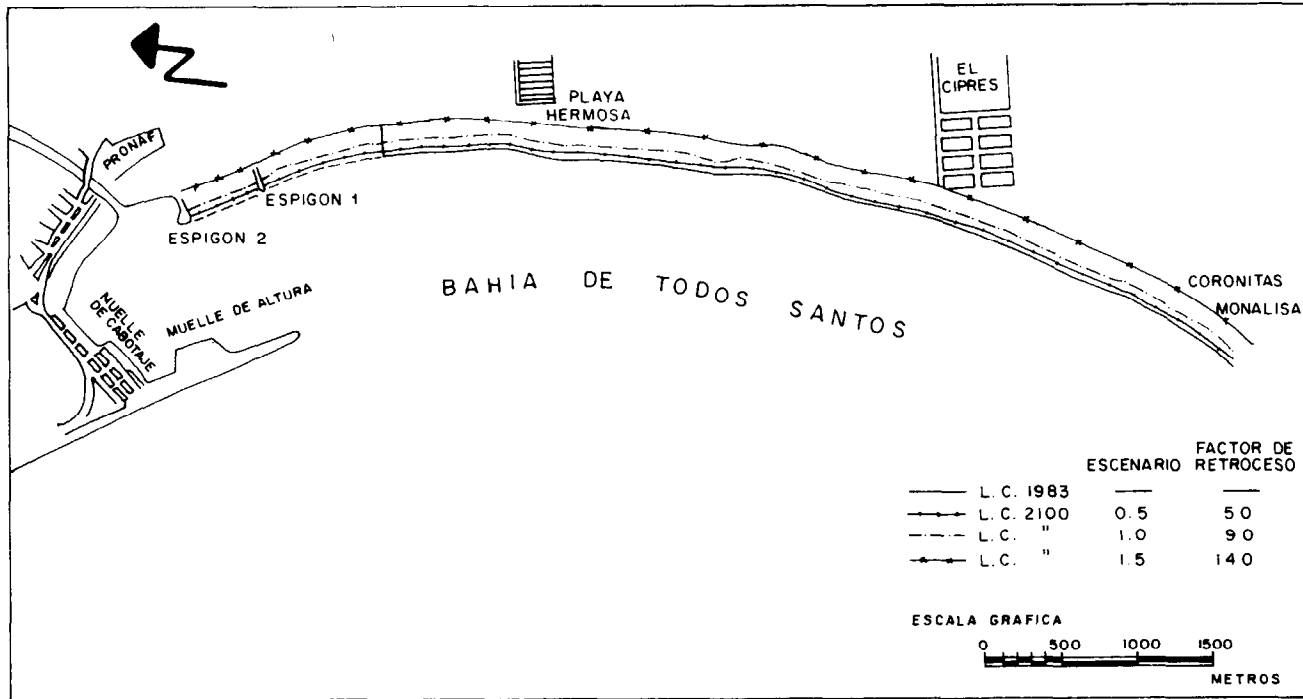


**Tabla 2.** Datos para obtener el retroceso de la línea de costa para los años 2000, 2025, 2050 y 2100.

**Table 2.** Data to obtain the coastline retreat for the years 2000, 2025, 2050 and 2100.

Año	Escenario (m)	Elevación total del nivel del mar (m)	Factor de retroceso	Retroceso de la línea de costa (m)
2000	0.5	0.015	50	0.92
			90	1.66
			140	2.58
	1.0	0.024	50	1.19
			90	2.15
			140	3.34
	1.5	0.030	50	1.48
			90	2.66
			140	4.13
2025	0.5	0.083	50	4.14
			90	7.44
			140	11.58
	1.0	0.135	50	6.74
			90	12.13
			140	18.86
	1.5	0.188	50	9.40
			90	16.93
			140	26.37
2050	0.5	0.182	50	9.10
			90	16.38
			140	25.48
	1.0	0.328	50	16.40
			90	29.53
			140	45.93
	1.5	0.478	50	23.90
			90	43.02
			140	66.92
2100	0.5	0.485	50	24.28*
			90	43.70
			140	67.98
	1.0	0.962	50	48.11
			90	86.60*
			140	134.71
	1.5	1.451	50	72.57
			90	130.63
			140	203.20*
			90	43.70

\* Estos datos son los que se utilizaron para la Figura 3.



**Figura 3.** Diferentes predicciones de la línea de costa para la bahía de Todos Santos para el año 2100 utilizando el factor de retroceso más representativo y los escenarios utilizados en el estudio.  
**Figure 3.** Different predictions of the coastline for Todos Santos Bay for the year 2100 using the most representative retreat factor and the scenarios used in the study.

medio del mar igual, si no es que sobrepase, el efecto de la deriva litoral.

El panorama para la porción sur de la playa hasta la boca del estero de Punta Banda es diferente; en esta zona se ha determinado una erosión neta de acuerdo a lo reportado por Castellón-Alvarez (1988), por lo que el retroceso de la línea de costa causado por la elevación del nivel del mar se sumará a este proceso de erosión. Si se considera solamente el desplazamiento de la línea de costa, ésta se localizará en contacto con las construcciones asentadas en la costa (Fig. 3), además de convertir la planicie costera adyacente en una zona susceptible a la inundación por eventos extremos.

### RECOMENDACIONES

Los riesgos de un incremento en el nivel del mar están suficientemente establecidos por varios autores, como para garantizar consideraciones especiales en la planificación y el desarrollo de la zona costera. Aunque el pronóstico de esta elevación no deba ser causa de alarma, pero tampoco de complacencia, las decisiones que se tomen en el presente no deben estar basadas en un escenario particular de elevación en el nivel del mar.

En el caso de la zona de estudio, se proponen dos opciones para combatir los efectos de la elevación del nivel del mar: (a) estabilización de la línea de costa, y (b) reubicación de los asentamientos costeros. Estas opciones se consideran válidas en virtud de que el desarrollo en la zona es aún incipiente, por lo que con una planeación adecuada, pueden preverse los daños en el futuro.

### AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Investigación Científica y Superación Académica de la Secretaría de Educación Pública, por su apoyo a través del convenio de colaboración No. C88-101-0349 con la Universidad Autónoma de Baja California, y a la Facultad de Ciencias Marinas, a través del proyecto: "Evolución geológica de la zona costera de Baja California."

### LITERATURA CITADA

Aubrey, G.D. (1981). Our dynamic coastline. *Oceanus*, 23(4): 5-13.

of erosion. If only the displacement of the shoreline is considered, this will localize the contact with the structures sitting on the coast (Fig. 3), along with converting the adjacent coastal plane into a zone susceptible to inundation by extreme events.

### RECOMMENDATIONS

The risks of an increase in the sea level are sufficiently established by various authors, as to guarantee the need of special considerations in the planning and development of the coastal zone. Even though the outlook of this elevation should not be cause for alarm, but should not be met with complacency either, the decisions that are made in the present should not be based on a particular scenario of sea level rise.

In the case of the study zone, two options are proposed in order to combat the effects of sea level rise: (a) establishment of the shoreline, and (b) relocation of the coastal seats. These options are considered to be valid in view of the fact that the development of the zone is still incipient, and with adequate planning future damages can be foreseen.

### ACKNOWLEDGEMENTS

To the Dirección General de Investigación Científica y Superación Académica of the Secretaría de Educación Pública, for their support through collaboration agreement No. C88-101-0349 with the Universidad Autónoma de Baja California, and to the Facultad de Ciencias Marinas, through the project: "Geological evolution of the coastal zone of Baja California".

English translation by the author.

---

Barth, M.C. and Titus, J.G. (1984). *Greenhouse Effect and Sea Level Rise*. Van Nostrand Reinhold, New York, 325 pp.

Bird, E. (1986). Potential effects of sea level rise on the coast of Australia, Africa and Asia. In: EPA (ed.), *Effects of Changes in Stratospheric Ozone and Global Climate*, Vol. 4, Sea Level Rise. EPA Publ. Washington, D.C., pp. 83-98.

Brunn, P. (1962). Sea level rise: A cause of shore erosion. *J. of the Waterways and Harbor Division*, 9: 117-130.

- Castillón Alvarez, R. (1988). Transporte de sedimento y su efecto sobre el perfil de playa en la bahía de Todos Santos, B.C., México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada, B.C., México.
- Dolan, R. and Hayden, B. (1981). Templates of change: storms and shore line hazards. *Oceanus*, 23(4): 32-37.
- Environmental Protection Agency (EPA) (1986). Effects of changes in stratospheric ozone and global climate. In: J.G. Titus (ed.), Vol. 4: Sea Level Rise. Washington, D.C.
- Everts, H. (1985). Sea level rise effects on shoreline position. *J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 111(6): 985-999.
- Godin, G., de la Paz, R., Rodríguez, N. y Ortiz, M. (1980). Revisión de los datos de mareas para la costa occidental de México. Departamento de Oceanografía del CICESE, Informe Técnico OC-80-02, Ensenada, B.C., México.
- Hicks, S.D., Debaugh, H. and Hickman, L.E. (1983). Sea Level Variation for the U.S., 1955-1980. National Oceanic and Atmospheric Administration. Rockville, Md., 170 pp.
- Hoffman, J.S., Keyes, D. and Titus, J. (1983). Projecting Future Sea Level Rise: Methodology, Estimates to the Year 2100, and Research Needs. Environmental Protection Agency Publ., Washington, D.C., 121 pp.
- Lizárraga Arciniega, J.R. (1976). Variaciones estacionales de la playa en la bahía de Todos Santos, B.C. *Ciencias Marinas*, 3(1): 30-50.
- Lowenstein, F. (1985). Beaches and bedrooms. *Oceanus*, 28(3):
- National Research Council (1987). Responding to Changes in Sea Level: Engineering Implications. National Academy Press, Washington, D.C., 148 pp.
- Orrin, H. and William, J. (1981). Barrier island hazard mapping. *Oceanus*, 23(4): 38-46.
- Pérez Higuera, R. y Chee Barragán, A. (1984). Transporte de sedimentos en la bahía de Todos Santos, B.C., México. *Ciencias Marinas*, 10(3): 31-52.
- Rubio Ortiz, O. (1987). Determinación de las zonas de mayor erosión y depositación en una playa de la bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada, B.C., México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1983). Mapa batimétrico del puerto de Ensenada, B.C. Dirección General de Puertos, 1 Marina Mercante, Capitanía de Puerto, Ensenada, B.C., México.
- Thomas, R.H. (1986). Satellite remote sensing over ice. *J. of Geophysical Research*, 90(C1): 1087-1099.
- Weggel, R. (1979). A method for estimating long-term erosion rates from long-term rise in water level. *CERC Technical Aid*, 79-2: 1-13.
- Wilcoxon, P.J. (1986). Coastal erosion and sea level rise: implications for ocean beach and San Francisco's westside transport project. *Coastal Zone Management J.*, 14(3): 173-191.