

Cambios en la posición de la línea de playa de la boca del Estero de Punta Banda,  
Baja California, durante 1972–2003

Beach-line changes at the mouth of Punta Banda Estuary,  
Baja California, during 1972–2003

O. Delgado-González<sup>1\*</sup>  
R. Lizárraga-Arciniega<sup>1</sup>  
A. Martínez-Díaz-de-León<sup>1</sup>  
L. Galindo-Bect<sup>1</sup>  
J.L. Fermán-Almada<sup>2</sup>  
A. Sánchez-Arcilla<sup>3</sup>  
C. Mosso<sup>3</sup>  
R. Pérez-Higuera<sup>1</sup>  
A. Cruz-Varela<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones Oceanológicas  
Universidad Autónoma de Baja California  
Apartado postal 423  
Ensenada, CP 22800, Baja California, México  
\* E-mail: [odelgado@uabc.mx](mailto:odelgado@uabc.mx)

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Marinas  
Universidad Autónoma de Baja California  
Apartado postal 423  
Ensenada, CP 22800, Baja California, México

<sup>3</sup> Escuela de Ingeniería Civil  
Campus Nord – UPC  
Jordi Girona, 1 – 3, D1  
08034 Barcelona, España

<sup>4</sup> Universidad de Sonora, DICTUS  
Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Col. Centro  
Hermosillo, Sonora CP 83000, México

*Recibido en mayo de 2005; aceptado en septiembre de 2005*

## Resumen

A partir de un conjunto de diez fotografías aéreas y dos imágenes de satélite de la boca del Estero de Punta Banda, Baja California, que cubren el periodo 1972–2003, se obtuvo la representación vectorial de la posición de la línea de playa de las estructuras que la delimitan y se describen sus cambios. La secuencia de fotografías permite observar el cambio de posición y tamaño de la boca del estero, cuyo valor máximo fue de 995 m en 1980. Los cambios observados en la morfología de la boca de 1980 a 1985 sugieren que los sedimentos aportados por las descargas pluviales correspondientes a las tormentas de los periodos invernales de 1977/78, 1980/81 y 1982/83 funcionaron como las fuentes principales de sedimentos de las estructuras que la delimitan. Se observó la presencia de una nueva barra que definió el límite norte de la boca a partir de 1985, la cual pudo haberse generado como una consecuencia del efecto combinado de la disminución de intensidad del flujo y reflujos de marea, debido a un aumento en el tamaño de la boca en 1980; de los excedentes de sedimentos disponibles; y de un transporte litoral de noreste a suroeste. El crecimiento neto que mostró la barra de arena que delimita el sur de la boca de 1978 a 2003 fue de 53 ha, de las cuales 26 ha crecieron hacia el interior del estero. Este crecimiento y la consecuente reducción de la boca pueden ser un reflejo de la disminución del prisma de marea por el cambio de volumen de la cuenca y de la capacidad de autodragado de la marea en la región de la boca.

*Palabras clave:* Estero de Punta Banda, línea de playa, fotografía aérea, erosión costera.

## Abstract

The spatial and temporal variability of the beach-line position at the tidal inlet of Punta Banda coastal lagoon in Baja California, Mexico, is described from the analysis of ten aerial photographs and two satellite images spanning from 1972 to 2003. The results showed that the maximum tidal inlet width (995 m) occurred in 1980. Changes observed from 1980 to 1985 suggest that the extraordinary sediment fluxes that occurred during the winter storms of 1977/78, 1980/81 and 1982/83 were the main source of sediment inducing the growth of the sediment structures that delimit the tidal inlet. By the end of 1985 a new sand bar appeared on the northern side of the tidal inlet and its formation is attributed to a reduction in the ebb and flood tidal intensity as a consequence of the combined effect of the increase in width of the tidal inlet in 1980, of the extraordinary supply of sediments and of the dominant northeast to southwest longshore sand transport. The net growth of the sand bar that shapes the southern side of the tidal inlet was 53 ha from 1978 to 2003, of which 26 ha are located in the inner part of the tidal inlet. This growth and consequent reduction of the tidal inlet could be the result of a reduction in the tidal prism produced by the great amount of sediments supplied to the coastal lagoon by storms and also by the reduction of the lagoon's flushing capacity.

*Key words:* Punta Banda coastal lagoon, beach line, tidal inlet, aerial photography, coastal erosion.

## Introducción

Las costas oceánicas son estructuras que están en constante cambio por la acción del oleaje, la marea, el aumento en el nivel del mar, el viento, las lluvias y sus escurrimientos, los deslizamientos y otros movimientos de tipo telúrico (Cupul-Magaña *et al.*, 2004). La dureza o grado de consolidación de cada costa y la presencia de puntos débiles en su interior, como uniones o fallas, determinan su resistencia al cambio. Mientras que el aumento del nivel del mar produce un cambio en la posición de la línea de costa en la escala de décadas, la razón de cambio de la costa por deslizamientos o efectos erosivos cubre una amplia escala temporal que puede ir de días a años, de acuerdo con las características geomorfológicas particulares de la costa y su exposición al agente causante del cambio (CDB, 2002).

La costa noroeste de la Península de Baja California, México, se caracteriza por la presencia de cantiles, terrazas elevadas, puntas rocosas, playas de arena, lagunas costeras, una estrecha plataforma continental y compleja topografía submarina, formaciones geológicas que tienen un origen asociado con la importante actividad tectónica a la que han estado expuestas (Legg *et al.*, 1991). Un rasgo particular de las lagunas costeras en esta zona es la presencia de barras de arena que las separan del mar adyacente. En Baja California se tienen estudios puntuales sobre la razón de cambio de los cantiles ante efectos del oleaje (Cruz-Colín, 1994) y sobre los cambios estacionales y episódicos a los que están expuestas las playas (Lizárraga-Arciniega, 1976; Lizárraga-Arciniega *et al.*, 2003); sin embargo, se desconoce la razón de cambio de sus barras de arena ante los factores físicos a las que están expuestas.

La energía del oleaje es el principal factor que afecta la morfología de la costa noroeste de Baja California (Lizárraga-Arciniega *et al.*, 2003). Durante la estación invernal el oleaje proviene del noroeste con alturas significativas de 2 m y durante el verano proviene del suroeste con alturas significativas de 0.5 m (Martínez-Díaz-de-León *et al.*, 1989). Esta alternancia estacional en la dirección de aproximación del oleaje afecta el sentido de las corrientes litorales que

## Introduction

Coastal shorelines are constantly changing as a result of wave and tidal action, increased sea levels, rainfall and runoff, wind action, landslides and other telluric movements (Cupul-Magaña *et al.*, 2004). The hardness or consolidation degree of coastal structures and the presence of internal weak points, such as jointings or faults, determine their resistance to change. Though the rise in sea level produces changes in beach-line position on a scale of tens of years, shoreline changes due to landslides or erosion occur in a wide time scale, from days to years, depending on the particular geomorphological characteristics of the coast and the exposure to the change-causing agent (CDB, 2002).

The northwestern coast of the Baja California peninsula, Mexico, is characterized by the presence of cliffs, elevated terraces, rocky points, sandy beaches, coastal lagoons, a narrow continental shelf and complex submarine topography, geological formations associated with exposure to significant tectonic activity (Legg *et al.*, 1991). A particular trait of the coastal lagoons in this region is the occurrence of sand bars separating them from the adjacent sea. In Baja California, studies have been conducted on cliff changes owing to wave action (Cruz-Colín, 1994) and on seasonal and episodic beach changes (Lizárraga-Arciniega, 1976; Lizárraga-Arciniega *et al.*, 2003); however, the rate of change of the sand bars subjected to physical forces has not been determined.

Wave energy is the main factor affecting the morphology of the northwestern coast of Baja California (Lizárraga-Arciniega *et al.*, 2003). Waves approach from the northwest in winter, with significant heights of 2 m, and from the southwest in summer, with heights of 0.5 m (Martínez-Díaz-de-León *et al.*, 1989). This seasonal alternation in wave approach affects the direction of the currents that transport sediments along the beaches within Todos Santos Bay, Baja California (Lizárraga-Arciniega, 1976; Torres-Navarrete, 1991). These wave heights are much lower than those generated during episodic storm events like those observed during the winter of 1977/78 (Martínez-Díaz-de-León *et al.*, 1989), when storm waves

transportan sedimentos a lo largo de las playas dentro de la Bahía de Todos Santos (BTS), Baja California (Lizárraga-Arciniega, 1976; Torres-Navarrete, 1991). Sin embargo, estos estadísticos subestiman las alturas del oleaje generado durante eventos episódicos de tormenta como los observados durante el invierno de 1977/78 (Martínez-Díaz-de-León *et al.*, 1989), cuando se generó oleaje de tormenta que se combinó con condiciones de marea alta y con los aportes pluviales, y afectó la infraestructura costera de la región de Baja California (González-Calvillo y Cupul-Magaña, 1986). Durante esta temporada invernal 1977/78 se registró oleaje con alturas de 3 a 5 m en las costas del sur de California y de más 10 m en las costas norte y central de California que causó daños a la infraestructura costera de esa región (Dormurat, 1978).

Además de la energía del oleaje, la disponibilidad de sedimento es un factor que determina el ancho de las playas y las dimensiones de las barras de arena. Su disponibilidad está relacionada principalmente con el aporte pluvial de los arroyos durante la época de lluvias y en menor medida con la erosión de los cantiles (CDB, 2002). El Estero de Punta Banda (EPB), la más norteña de las lagunas costeras en la costa del Pacífico mexicano, recibe aporte de agua durante las precipitaciones pluviales y principalmente por los arroyos San Carlos y las Ánimas, los cuales desembocan al interior de su cuenca. Las lluvias ocurren durante los meses de invierno y el promedio de la precipitación anual es de 285 mm (Reyes-Coca y Troncoso-Gaytán, 2004). Sin embargo, ante la presencia de El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) la precipitación puede llegar a ser dos o tres veces mayor que el promedio. Durante El Niño de 1977/1978, por ejemplo, el promedio anual fue de 639 mm (Minnich *et al.*, 2000). El material drenado en promedio por año aportado por los arroyos también se duplica durante condiciones El Niño (Pozos-Salazar, 1985; Pou-Alberú y Pozos-Salazar, 1992). Además de estos aportes, la barra del EPB recibe material sedimentario por la erosión de los cantiles de Punta Banda localizados 5 km al suroeste de la boca (Pérez-Higuera y Chee-Barragán, 1984; Cruz-Colín, 1994). Sin embargo, se desconocen los efectos de estos excedentes de sedimento ocasionados por lluvias extremas durante las épocas de El Niño sobre la estructura de la barra de arena y la boca del EPB.

Al realizar una comparación cualitativa de una serie de fotografías aéreas e imágenes de satélite de la boca del EPB, se pueden observar cambios en la posición de ésta y en la morfología de las estructuras que la delimitan, así como en la posición relativa del canal principal de marea. La posición de la línea de playa (PLP) y la cuantificación de sus desplazamientos horizontales en el espacio y el tiempo se puede realizar empleando mapas topográficos, fotografías aéreas verticales e imágenes satelitales (Gaad, 1997; Patterson, 1997; Komar *et al.*, 2001; Stauble, 2003). El propósito del presente trabajo fue cuantificar y documentar los cambios observados en fotografías aéreas y de satélite de la boca del EPB, los cuales son utilizados para inferir los posibles agentes físicos que los ocasionaron.

combined with high tides and heavy rainfall affected the coastal infrastructure of Baja California (González-Calvillo and Cupul-Magaña, 1986). During the winter of 1977/78, wave heights of 3–5 m were recorded on the coast of southern California and of more than 10 m along northern and central California, damaging the region's coastal infrastructure (Dormurat, 1978).

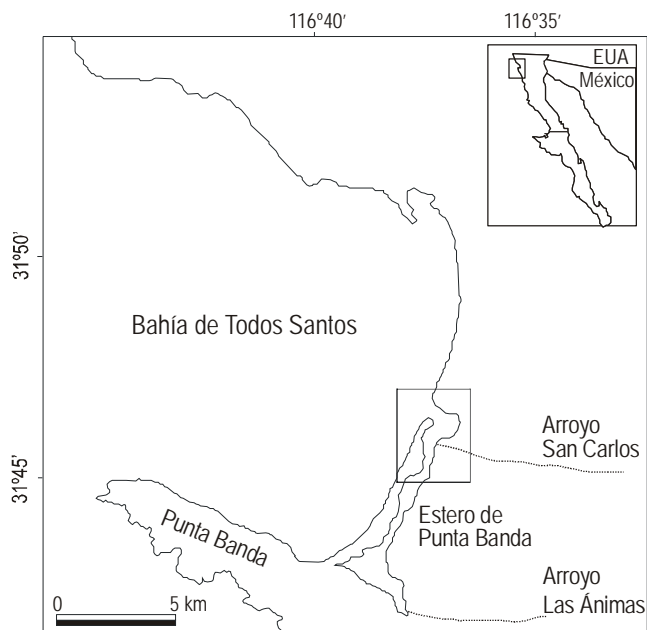
Besides wave energy, sediment availability is a factor that determines the width of beaches and dimensions of sand bars. Its availability is mainly related to stream runoff during the rainy season and, to a lesser extent, to cliff erosion (CDB, 2002). Punta Banda Estuary (PBE), the northernmost coastal lagoon on the Pacific coast of Mexico, receives water from precipitation and from the San Carlos and Las Ánimas streams that flow into its basin. Rains occur during the winter months. Mean annual rainfall is 285 mm (Reyes-Coca and Troncoso-Gaytán, 2004), but during El Niño/Southern Oscillation (ENSO) events, rainfall can be two or three times greater than the average; for example, the annual mean for the 1977/78 El Niño was 639 mm (Minnich *et al.*, 2000). The stream-drained material is also twice the annual average under El Niño conditions (Pozos-Salazar, 1985; Pou-Alberú and Pozos-Salazar, 1992). Moreover, the PBE sand bar receives sedimentary material from erosion of the Punta Banda cliffs located 5 km to the southwest of the tidal inlet (Pérez-Higuera and Chee-Barragán, 1984; Cruz-Colín, 1994). The effects, however, of this sediment surplus caused by heavy rainfall during El Niño episodes on the structure of the PBE sand bar and mouth are not known.

A qualitative comparison of a series of aerial photographs and satellite images of the PBE mouth revealed changes in its morphology and in the morphology of the structures that delimit it, as well as in the relative position of the main tidal channel. The shoreline position and its horizontal displacement in space and time can be determined using topographic maps, vertical aerial photographs and satellite imagery (Gaad, 1997; Patterson, 1997; Komar *et al.*, 2001; Stauble, 2003). This study aims to analyze and document the changes observed in aerial photographs and satellite images of the tidal inlet of PBE, and to determine the possible physical agents that caused them.

## Material and methods

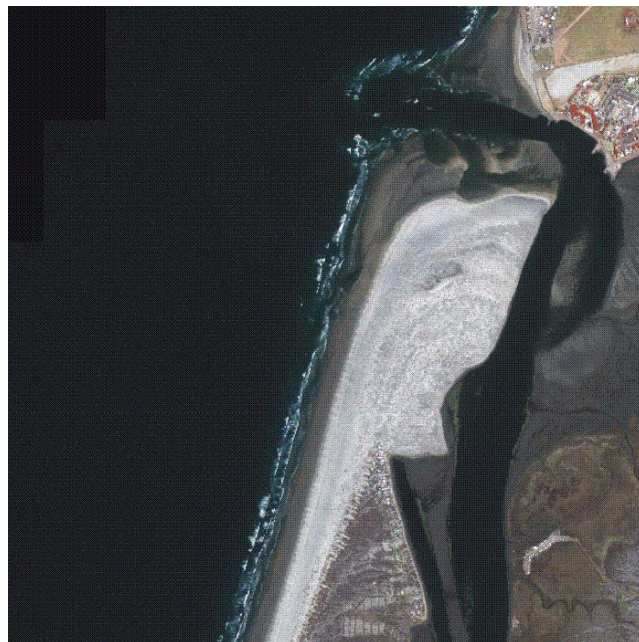
Punta Banda Estuary (31°40'–31°47' N, 116°39'–116°37' W) is an L-shaped coastal lagoon located within Todos Santos Bay in northwestern Baja California, Mexico (fig. 1). Its basin is separated from the bay by a 7-km-long sand bar whose tip acts as the southern limit of its single mouth (fig. 2), while a ~450-m-long coastal structure on the mainland side is its northern limit. Water exchange between PBE and the bay is dominated by the tide, whose flux of ~1.5 m s<sup>-1</sup> keeps it open (Pritchard *et al.*, 1978; González-Calvillo, 1980).

Ten aerial photographs and two satellite images were analyzed to determine the temporal and spatial changes of the PBE



**Figura 1.** Localización geográfica del Estero de Punta Banda dentro de la Bahía de Todos Santos, Baja California (México).

**Figure 1.** Geographic location of Punta Banda Estuary in Todos Santos Bay, Baja California (Mexico).



**Figura 2.** Detalle de la estructura de la punta de la barra del Estero de Punta Banda, obtenido de una imagen IKONOS con resolución de 1 m (marzo de 2002).

**Figure 2.** Detail of the structure of the tip of the Punta Banda Estuary sand bar, obtained from a 1-m resolution IKONOS image (March 2002).

## Materiales y métodos

El Estero de Punta Banda, localizado dentro de la BTS (31°40'–31°47' N, 116°39'–116°37' W), es una laguna costera en forma de *L* en el noroeste de la Península de Baja California, México (fig. 1). Su cuenca está separada de la BTS por una barra de arena de 7 km de largo cuya punta actúa como límite sur de su única boca (fig. 2), mientras que una obra de protección costera de aproximadamente 450 m de largo en la parte continental funciona como su límite norte. El intercambio de agua entre el EPB y la BTS está dominado por la marea, cuyo refluo de aproximadamente  $1.5 \text{ m s}^{-1}$  la mantiene abierta (Pritchard *et al.*, 1978; González-Calvillo, 1980).

Para cuantificar los cambios temporales y espaciales de la boca del EPB se utilizó un conjunto de diez fotografías aéreas y dos imágenes de satélite. La fotografía correspondiente a 1978 fue lograda durante febrero, días antes de que se presentara la erosión de la punta de la barra de arena que actúa como límite sur de la boca.

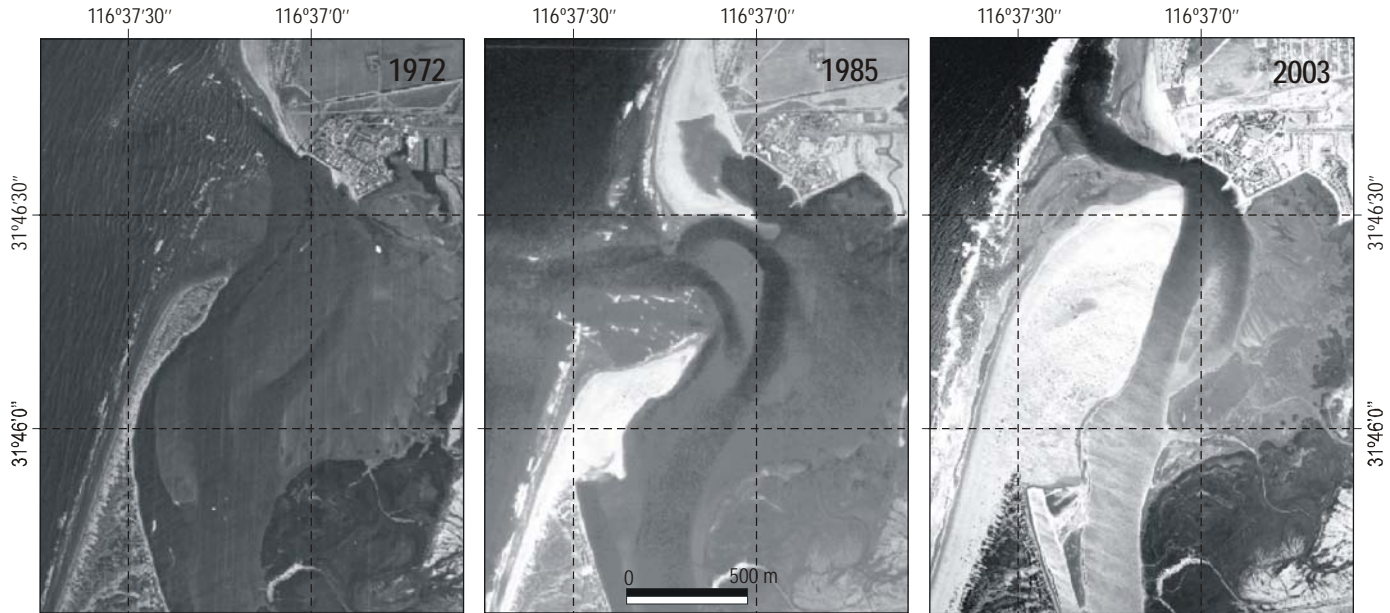
Una vez acotada el área de interés, las fotografías aéreas e imágenes se transformaron en mapas (fig. 3) utilizando un mínimo de 15 puntos de control rectificadas mediante una ortofoto INEGI de 1993 (I-26) en el sistema UTM zona 11 y empleando como datum de referencia el geoide NAD 27 (North American Datum, 1927). En el proceso de rectificación se utilizaron las rutinas del programa ERMapper 6.1<sup>®</sup> y se cuidó que el error mínimo cuadrático del ajuste fuese menor a 2 m.

mouth. The photograph corresponding to 1978 was taken in February, days before erosion occurred at the tip of the sand bar (southern limit).

After delimiting the area of interest, the aerial photographs and images were mapped (fig. 3) using a minimum of 15 control points, rectified with a 1993 INEGI (National Institute of Statistics, Geography and Informatics, Mexico) orthophoto (I-26), in UTM zone 11, and using the North American Datum of 1927 (NAD 27) as reference. The ERMapper 6.1<sup>®</sup> program was used in the rectification process and care was taken to ensure that the minimum square error of the fit was less than 2 m.

The contours of the beach-line position (BLP) were defined. This line distinguishes the border between the beach's dry and wet sediment, detected by the differences in grey tones between the wet and dry sand. The BLP was digitalized directly on the computer screen using the ArcView 3.2<sup>®</sup> program for geographical information systems (GIS). The tonal change in some photographs and images also allowed the on-screen identification and digitalization of tidal channel beds and a series of shoals near the mouth. Scales of 1:4000 to 1:7000 were used during the on-screen digitalization process because the differences in scale of the photographic material analyzed did not permit using a single scale.

To determine the changes in the dimensions of the PBE tidal inlet, two parallel lines were traced that tangentially touched the extreme points delimiting the mouth and that at the same time were perpendicular to a straight line joining two



**Figura 3.** Tres mapas representativos de los cambios morfológicos de la boca del Estero de Punta Banda para 1972, 1985 y 2003.  
**Figure 3.** Three representative maps of the morphological changes of the mouth of Punta Banda Estuary for 1972, 1985 and 2003.

Se definieron los contornos de la PLP, línea que distingue la frontera entre el sedimento seco y húmedo de la playa y que se puede detectar por el cambio tonal de grises entre la arena húmeda y la seca. La PLP fue digitalizada directamente de la pantalla de la computadora, utilizando el programa ArcView 3.2.<sup>®</sup> para sistemas de información geográfica (SIG). El cambio tonal en algunas fotografías e imágenes también permitió identificar y digitalizar en pantalla los cauces de canales de marea y una serie de bajos en las inmediaciones de la boca. En el proceso de digitalización en pantalla se empleó un intervalo de escala de 1:4000 a 1:7000, debido a que las diferencias de escalas del material fotográfico disponible impiden realizar el proceso en una escala única.

Para obtener los cambios en las dimensiones de la boca del estero, se trazaron dos líneas paralelas que tocaron de manera tangencial los puntos más extremos de las estructuras que delimitaban la boca y que al mismo tiempo eran perpendiculares a la línea recta que cruza los puntos seleccionados sobre las coordenadas geográficas 31°46'0"N, 116°37'30"W y 31°46'30"N, 116°37'0"W, respectivamente (fig. 4).

Se estimaron los cambios de área de las estructuras que delimitaron el ancho de la boca empleando los mapas de la PLP para cada fotografía e imagen disponible. Aun cuando el cambio de área de las estructuras pueda darse en sentido transversal y en ocasiones no afecte directamente el ancho de la boca, su cálculo permite identificar la erosión o acreción a las que están expuestas las estructuras y su participación en la definición del ancho de la boca. Para asegurarse que los cambios en el área de las estructuras fueron ocasionados por procesos naturales, se acotó el área rectangular en la región de la boca, esto evitó incluir aquellos cambios de área por obras de rellenos como las realizadas de 1980 a 1985, en las que se

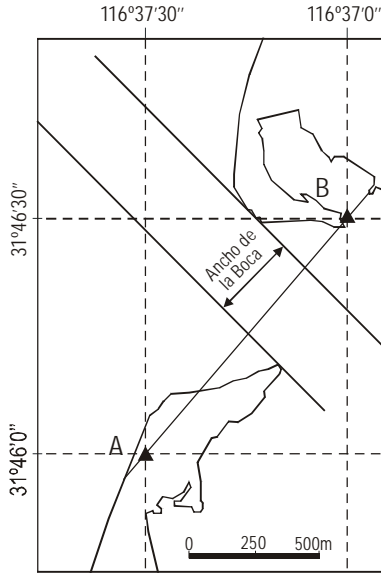
points, one located at 31°46'0" N and 116°37'30" W and the other at 31°46'30" N and 116°37'0" W (fig. 4).

The changes in the area of the structures delimiting the width of the mouth were analyzed using the BLP maps for each photograph and image available. Even though the area change can occur transversally and does not always directly affect the width of the mouth, its calculation enables the identification of the erosion or accretion undergone by the structures and their role in defining the width. To ensure that these changes were caused by natural processes, the rectangular area in the region of the mouth was reduced, so as not to include those area changes resulting from the modifications made between 1980 and 1985, when a series of channels that appear in the upper right-hand side of the aerial photograph corresponding to 1972 were filled (fig. 3).

## Results

Temporal changes were observed in the width of the PBE mouth during the 31 years covered by this study (fig. 5). The mouth width decreased from ~595 to 445 m between 1972 and 1978, and then increased until reaching 995 m in 1980, after which it decreased again to 220 m in 1989. The decreasing trend continued and in 2003 it was only 110 m. A linear least squares fitting for 1972–2003 revealed a decreasing rate of 17.6 m yr<sup>-1</sup> ( $r^2 = 0.52$ ). These changes in mouth width are mainly related to the displacement of the BLP of the tip of the sand bar on the southern side.

Figure 6 shows the changes in area between 1972 and 2003 associated with the northern and southern limits of the PBE mouth. As can be observed, the area of the northern structure, located on the mainland side and partially stabilized in the



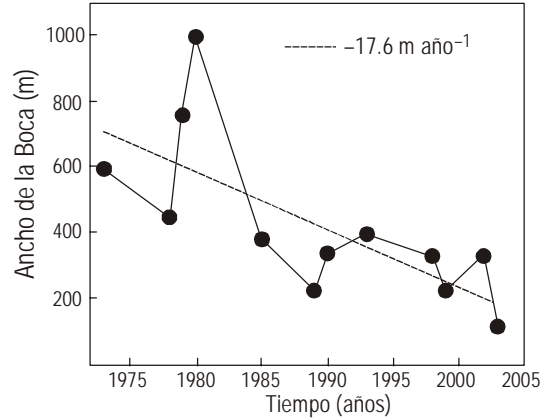
**Figura 4.** Representación gráfica de cómo se determinaron las dimensiones de la boca del Estero de Punta Banda. El cruce del punto A se encuentra sobre la barra de arena al sur de la boca, mientras que el punto B quedó ubicado frente a la punta de la barra de arena al norte de la boca.  
**Figure 4.** Graphic representation of how the dimensions of the mouth of Punta Banda Estuary were determined. Point A is located on the sand bar on the southern side of the mouth, while point B is located opposite the tip of the sand bar on the northern side of the mouth.

rellenaron la serie de canales que aparecen en el margen superior derecho de la fotografía aérea correspondiente a 1972 (fig. 3).

**Resultados**

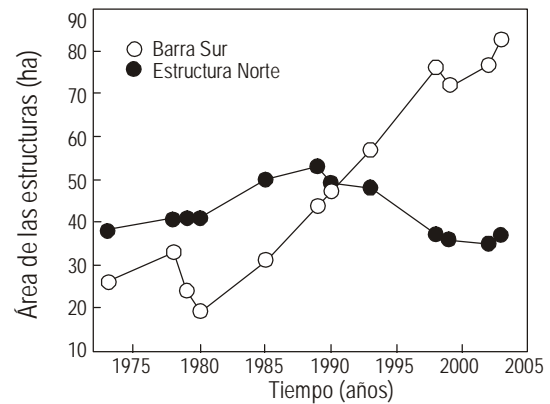
Se observaron cambios temporales en el ancho de la boca del EPB durante los 31 años que cubre el estudio (fig. 5). De 1972 a 1978 el ancho de la boca disminuyó de aproximadamente 595 a 445 m. A partir de 1978 el ancho de la boca empezó a crecer y alcanzó una dimensión de 995 m en 1980. Posterior a 1980 la boca disminuyó nuevamente, alcanzando 220 m en 1989. De 1989 en adelante el ancho de la boca presenta una tendencia a disminuir, de tal manera que en 2003 su valor fue de sólo 110 m. Un ajuste lineal por cuadrados mínimos entre 1972 y 2003 muestra una disminución en el ancho de la boca a razón de  $17.6 \text{ m año}^{-1}$  ( $r^2 = 0.52$ ). Estos cambios en el ancho de la boca están relacionados principalmente con el desplazamiento de la PLP de la punta de la barra de arena sur.

Los cambios de área entre 1972 y 2003 asociados a la estructura norte y la barra sur que definen la boca del estero, se muestran en la figura 6. Se puede observar cómo el área de la estructura norte, ubicada en la parte continental y estabilizada parcialmente en la región de la boca por una obra de protección costera, aumentó de 39 a 41 ha de 1972 a 1978; sin embargo, dicho cambio no afectó el ancho de la boca. De 1980 a 1985 el área de la estructura norte creció como resultado de la generación de una barra arenosa en la parte no estabilizada (ver



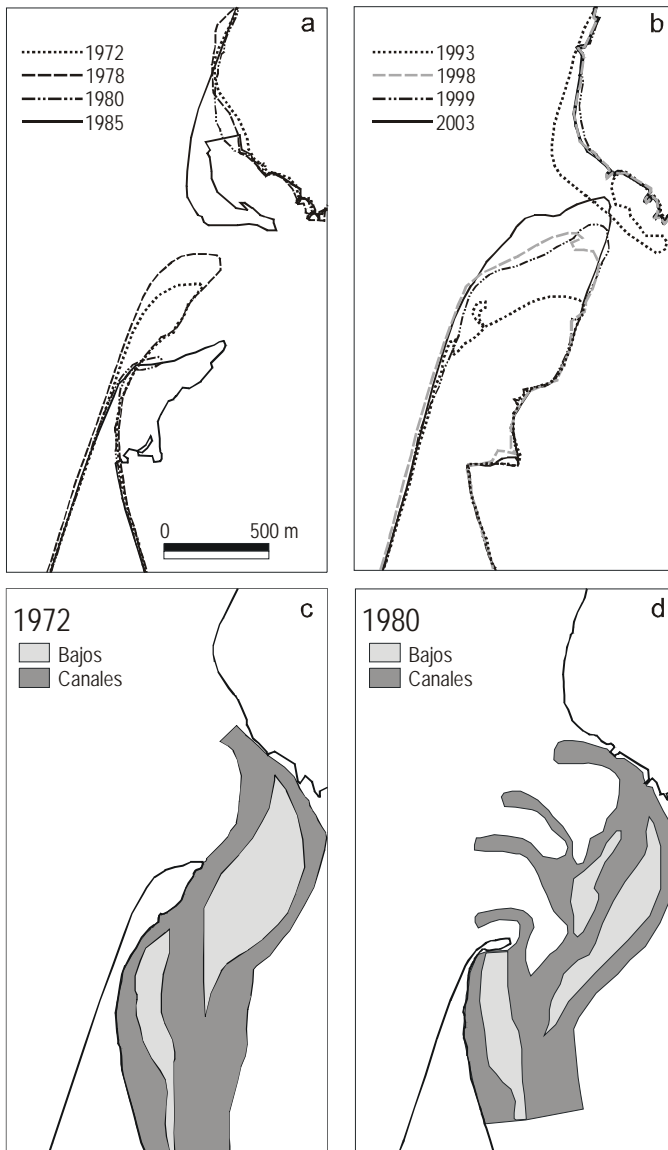
**Figura 5.** Cambios observados en el ancho de la boca del Estero de Punta Banda entre 1972 y 2003. La recta quebrada representa el ajuste lineal por cuadrados mínimos y el valor de su pendiente se indica en el extremo superior derecho.  
**Figure 5.** Changes observed in the width of the mouth of Punta Banda Estuary between 1972 and 2003. The broken line represents the least-squares linear fit and the value of its slope is given in the upper right-hand corner.

mouth region by a coastal structure, increased from 39 to 41 ha from 1972 to 1978; however, this change did not affect the mouth width. From 1980 to 1985 the area of the northern structure increased as a result of the formation of a sand bar in the non-stabilized part (see fig. 7a), reaching its maximum value in 1989, which modified the width and position of the mouth. This area then began to decrease and disappeared after 1993 (see fig. 7b), acquiring similar values to those observed between 1972 and 1978. On the other hand, the behaviour of



**Figura 6.** Áreas de las estructuras que determinan la posición y el tamaño de la boca: la línea con círculos blancos representa a la punta de la barra de arena al sur de la boca, mientras que la línea con círculos negros representa la parte continental y la barra de arena que se formó y actuó como límite norte al menos durante nueve años.  
**Figure 6.** Area of the structures that determine the position and size of the mouth: the line with white circles represents the tip of the sand bar on the southern side of the mouth, while the line with black circles represents the mainland side and the sand bar that formed and acted as the northern limit of the mouth for at least nine years.

Figure 6. Area of the structures that determine the position and size of the mouth: the line with white circles represents the tip of the sand bar on the southern side of the mouth, while the line with black circles represents the mainland side and the sand bar that formed and acted as the northern limit of the mouth for at least nine years.



**Figura 7.** Contornos de la posición de la línea de playa durante las diferentes etapas de erosión y acreción de la boca del estero (a, b) y su asociación con la posición de los bajos de arena y canales de marea para 1972 (c) y 1980 (d).

**Figure 7.** Contours of the beach-line position during the different stages of erosion and accretion of the mouth of Punta Banda Estuary (a, b) and their association with the position of the sand banks and tidal channels for 1972 (c) and 1980 (d).

fig. 7a), llegando a su valor máximo en 1989, lo cual modificó el ancho y la posición de la boca del EPB. Posterior a 1989 el área de la estructura norte empezó a disminuir, desapareciendo después de 1993 (ver fig. 7b), con lo cual el área de la estructura norte adquirió valores similares a los observados entre 1972 y 1978. Por otro lado, el comportamiento del área de la punta de la barra sur muestra un crecimiento neto de 57 ha durante el periodo de 1972 a 2003. Sólo en dos ocasiones se invirtió tal comportamiento: de 1978 a 1980 la punta de la barra sur se erosionó 14 ha y de 1998 a 1999 cuando su área se redujo en 4 ha.

the tip of the sand bar on the southern side of the mouth shows a net increase of 57 ha during the period from 1972 to 2003. This behaviour only changed on two occasions: between 1978 and 1980 when the area underwent an erosion of 14 ha and between 1998 and 1999 when it decreased by 4 ha.

The maps with the BLP contours show the increase or loss of area of the structures that define the mouth (fig. 7a, b). From 1972 to 1978 the tip of the southern sand bar shows a displacement of the BLP towards the northeast, but from 1978 to 1980 this behaviour reversed, reaching its southernmost limit in 1980. From 1985 to 1993 it is possible to observe a northeasterly displacement and an increase in the thickness of the southern sand bar, as well as the appearance of the curved northern bar that delimited and displaced southeastwards the position of the PBE mouth. The northeasterly displacement of the BLP of the southern bar continued between 1998 and 2003. On superimposing the maps of the BLP contours corresponding to 1978 and 2003, the difference in area is ~50 ha, of which 26 ha are located in the inner part of the tidal inlet.

The contours of the channels and shoals indicate their relative position in the region of the mouth (fig. 7c, d). The 1972 map shows only one main channel, confined to the northern side of the mouth, and the presence of two shoals. By 1980 this configuration had changed to four channels across the mouth and to four shoals. By 1985 there were only two channels at the mouth, the northernmost and southernmost channels having disappeared (see fig. 3), and from 1989 to 2003 only one channel is observed, in a similar position to that occupied in 1972.

### Discussion

The width of the PBE mouth decreased from 593 to 444 m between 1972 and 1978 due to the increase in area at a rate of 1 ha yr<sup>-1</sup> of the tip of the sand bar delimiting the southern side of the mouth. This trend reversed during the next two years and from 1978 to 1979 the width increased to 756 m as a result of the erosion of approximately 9 ha of the southern tip. This increase can be attributed to the effects caused by the winter storms of 1977/78 (Dormurat, 1978; González-Calvillo and Cupul-Magaña, 1986). The erosive effect responsible for diminishing the sand bar on the southern side of the mouth must also have increased its vulnerability to the winter wave action and rainfall in 1980. This would explain the erosion of another 5 ha from 1979 to 1980 and thus the receding of the BLP and the increase in mouth width to 995 m, the maximum value recorded during the 31 years covered by this study. The hectares of accretion observed at the tip of the sand bar from 1972 to 1978 were caused by erosion on the days affected by storm surge and other oceanic conditions, such as a rise in sea level and the winter spring tides, among others.

From 1980 to 1985 the position of the mouth was displaced southwestwards and the width decreased to 379 m as a result of the formation of a curved sand bar on the northern side of the mouth and of the increase of 12 ha undergone by the sand bar

Los mapas con los contornos de la PLP en la boca permiten observar el aumento o la pérdida de área de las estructuras que definen la boca (fig. 7a, b). De 1972 a 1978 la punta de la barra sur presentó un desplazamiento de la PLP hacia el noreste; sin embargo, de 1978 a 1980 tal comportamiento se invirtió y alcanzó su límite más sureño durante 1980. De 1985 a 1993 los contornos de la PLP permiten identificar el desplazamiento hacia el noreste y aumento en el grosor de la barra sur, así como la aparición de la barra curva que delimitó y desplazó hacia el sureste la posición de la boca del EPB. De 1998 a 2003 continuó el desplazamiento hacia el noreste de la PLP de la barra sur. Al sobreponer los mapas de la PLP correspondientes a 1978 y 2003 la diferencia de áreas es de aproximadamente 50 ha, de las cuales 26 ha aparecen como relleno de la cuenca del EPB.

Los contornos de los canales y bajos de arena permiten observar su posición relativa en la región de la boca (fig. 7c, d). En la escena de 1972 se observa un solo canal principal, confinado al extremo norte de la boca con la presencia de dos bajos de arena. Para 1980 tal configuración cambió a cuatro canales a lo largo de la boca y la presencia de tres bajos de arena, uno de los cuales se juntó con la punta de la barra de arena. Para 1985 la boca redujo su número de canales a dos, al desaparecer los canales en los extremos norte y sur de la boca (ver fig. 3), y de 1989 a 2003 la boca funciona con un solo canal principal confinado a una posición similar a la que tenía en 1972.

## Discusión

La disminución del ancho de la boca de 1972 a 1978 de 593 a 444 m debido al incremento en el área de la punta de la barra de arena al sur de la boca a razón de 1 ha año<sup>-1</sup>, se invirtió en los dos años posteriores. De 1978 a 1979 la boca de la laguna costera creció a 756 m debido a la erosión de aproximadamente 9 ha de la punta de la barra de arena que limita el sur de la boca. Tal aumento se puede atribuir a los efectos ocasionados por las tormentas registradas durante el invierno de 1977/78 (Dormurat, 1978; González-Calvillo y Cupul-Magaña, 1986). El efecto erosivo que ocasionó el retroceso de la punta de la barra de arena que actúa como límite sur de la boca, también debió aumentar su vulnerabilidad al embate del oleaje en condiciones de invierno y eventos de lluvias durante 1980. Tal condición explicaría la erosión de 5 ha más de 1979 a 1980 con el correspondiente retroceso de la PLP y aumento del ancho de la boca a 995 m, que es el máximo valor registrado durante los 31 años que cubre este estudio. Las hectáreas de acreción observadas en la punta de la barra de arena de 1972 a 1978 se debieron erosionar durante los días en los que se recibieron los efectos de oleaje de tormenta, sin descartar su combinación con otras condiciones oceánicas como la elevación del nivel del mar por apilamiento de tormenta y las mareas vivas de los meses invernales, entre otros.

De 1980 a 1985 la posición de la boca se desplazó hacia el suroeste y redujo su ancho a 379 m. Esto se debió a la

on the southern side. This simultaneous increase in area and sand-bar formation can be attributed to the greater availability of sediments in the coastal system because of the winter rainfall in 1978, 1980 and 1983 (Pozos-Salazar, 1985), the sediments being rearranged by wave action, littoral currents and tidal currents. The morphology presented by both bars suggests a convergence of sediment transport towards the mouth; this concurs with the results obtained based on the longshore transport inferred from the textural analysis of sediments (Pérez-Higuera and Chee-Barragán, 1984).

From 1985 to 1989 the process of accretion continued in the area of both sand bars. The bar on the southern side of the mouth increased another 13 ha but the northern bar increased only 3 ha, the width of the mouth decreasing to ~220 m.

The configuration of both sand bars continued to determine the width of the mouth between 1989 and 1993. The increase in width to 392 m, however, was caused by the erosion of 5 ha of the northern bar, since the 13 ha gained by the southern bar occurred transversally rather than latitudinally. This transversal growth caused a shifting or displacement of the beach line at the tip of the southern bar relative to the corresponding one on the opposite side of the mouth.

The erosion observed in 1993 of the sand bar on the northern side of the mouth, attributed to the inertia of the tidal flux on turning to exit via the mouth (Ortiz *et al.*, 2003), finally consumed it in 1998. The accretion of 19 ha at the tip of the southern sand bar during this stage was the highest proportional amount observed, suggesting that part of the eroded material from the northern bar was incorporated into the area on the southern side of the mouth. The increase in area at the tip of the southern bar once again occurred transversally and the width of the mouth only decreased to 325 m. This behaviour indicates that the eroded material from the northern side of the mouth was transported outwards by the ebb tide and towards the tip of the southern bar by the swell. This trajectory of the sediment can be supported by the effect of the ebb delta on the swell, which produces a local change in the direction of the longshore transport (Hayes *et al.*, 1974).

During 1998 and 1999 the width of the mouth continued to decrease even with the erosion of 4 ha in the exposed part of the tip of the southern sand bar. The process of accretion observed in the previous 18 years reversed during this brief period. This can be attributed to the winter storms that generated the extreme surge associated with the 1998 El Niño event that affected the coasts of California and Baja California (Lizárraga-Arciniega *et al.*, 2003). Some of the eroded material was transported and deposited in the inner part of the southern sand bar, producing its tip-like extension, which decreased the width of the mouth to 220 m even though it showed erosion.

The tendency of the mouth to decrease in width at a rate of 17.6 m yr<sup>-1</sup> summarizes the general behaviour observed from 1972 to 2003. This rate must be considered with caution since the number of photographs and images available and the occurrence of episodic events, such as those observed between 1978 and 1980 that caused changes in the BLP at a rate of hundreds



formación de una barra de arena curva en el lado norte de la boca que se combinó con el aumento de 12 ha en la punta de la barra de arena en el lado sur. El crecimiento de manera simultánea de la punta en el lado sur y la formación de la barra al norte se pueden atribuir a la mayor disponibilidad de sedimentos en el sistema costero como producto de las lluvias registradas en los inviernos de 1978, 1980 y 1983 (Pozos-Salazar, 1985), los cuales fueron reacomodados por los procesos costeros de oleaje, corrientes litorales y las corrientes de marea. La morfología que presentan ambas barras sugiere una convergencia del transporte de sedimentos hacia la boca, lo que concuerda con los resultados obtenidos con base en el transporte litoral inferido mediante el análisis textural de sedimentos (Pérez-Higuera y Chee-Barragán, 1984).

De 1985 a 1989 el proceso de acreción continuó en ambas barras y el área de la barra de arena al sur de la boca aumentó 13 ha más, mientras que la barra al norte de la boca sólo aumentó 3 ha, estos aumentos ocasionaron que el ancho de la boca se redujera a aproximadamente 220 m.

De 1989 a 1993 el ancho de la boca continuó determinado por la configuración de las dos barras. Sin embargo, el aumento en la anchura a 392 m se debió a la erosión de 5 ha en la barra al norte de la boca, ya que las 13 ha ganadas por la barra de arena al sur de la boca fueron en su dirección transversal más que longitudinal. Este crecimiento transversal ocasionó un corrimiento o desfase de la línea de playa en la punta de la barra al sur de la boca relativo a la correspondiente en el límite opuesto de la boca.

El proceso erosivo observado durante 1993 en la barra de arena norte, atribuido a la inercia del reflujos de marea al girar para salir por la boca (Ortiz *et al.*, 2003), terminó por consumirla en 1998. La acreción de 19 ha que se observó en la punta de la barra al sur de la boca durante esta etapa fue el mayor aumento proporcional observado, lo cual sugiere que parte del material erosionado en la barra al norte de la boca se haya incorporado a la punta de la barra al sur de la boca. El aumento de área de la punta de la barra al sur de la boca nuevamente se dio más en el sentido transversal y la boca sólo redujo su ancho a 325 m. Este comportamiento sugiere que el material erosionado en la barra al norte de la boca fue transportado hacia afuera por el reflujos de marea y hacia la punta de la barra sur por el efecto del oleaje. Tal trayectoria del sedimento puede ser sustentada por el efecto del delta de reflujos sobre el oleaje, el cual provoca un cambio local en el sentido del transporte litoral (Hayes *et al.*, 1974).

Durante 1998 y 1999 la boca continuó disminuyendo su ancho aun cuando se presentó un proceso de erosión de 4 ha en la parte expuesta de la punta de la barra al sur de la boca. Durante este breve periodo se revirtió el proceso de acreción observado en los 18 años anteriores, lo cual puede asociarse con las tormentas de invierno que generaron oleaje extremo que afectaron las costas de California y Baja California asociadas con El Niño 1998 (Lizárraga-Arciniega *et al.*, 2003). Parte del material erosionado fue transportado y se depositó en la parte interna de la barra al sur de la boca, formando su

of meters per year, influence the estimation of this tendency as well as the fit measurement reported ( $r^2 = 0.52$ ). Moreover, this tendency does not provide information on the period from 1985 to 1993, during which the two sand bars determined the width and relative position of the mouth. The area changes of the structures delimiting the mouth are useful to explain the behaviour regarding its width, but they are not enough given the possibility that the area may increase in a transversal direction and may not directly affect the width.

The rain runoff associated with the winter storms of 1978, 1980 and 1983 supplied, in each year, double the mean volume of sediments supplied in 34 years (Pozos-Salazar, 1985); this contributed to modify the position of the tidal channels and, consequently, the circulation in the area of the mouth. From 1972 to 1978 there was one main channel for tidal water exchange at the mouth, but in 1980 there were four.

The exceptional volumes of sediments supplied between 1972 and 1978 contributed to obstruct two of the tidal channels: the one that was the main channel during 1972–1978, as observed in the 1985 map, and the channel that served as the internal limit of the sand bar on the southern side of the mouth until 1980. These obstructions and the way in which both sand bars grew indicate that wave action and littoral currents played a greater role in the reaccommodation of the surplus sediment than the lagoon's flushing capacity during ebb tide.

The formation and permanence of the sand bar on the northern side of the mouth, at least from 1985 to 1993, suggest a northeast to southwest longshore sand transport and a source to the northwest of the mouth, or that the sand banks deposited in front of the mouth, after the rainy period from 1978 to 1983, acted as a source and when their volume decreased the ebb tide had to surpass the longshore transport that maintained it and then eroded it. If the tendency observed from the rate of change shown by the northern bar had continued, it should have disappeared during 1996–1997.

The changes in the shape and dimensions of the structures delimiting the mouth from 1985 onwards differ from those of 1972–1978. This suggests that they should be related to the effects of the winter storms of 1978–1983 rather than to material eroded from cliffs or deep-sediment banks. On the one hand, the storm-generated surge affected the coasts of California and Baja California (Dormurat, 1978; González-Calvillo and Cupul-Magaña, 1986) and must have eroded the distant part of the sand bar on the southern side of the mouth and, on the other, the associated rainfall supplied exceptional volumes of water and sediment (Pozos-Salazar, 1985) that contributed to its reconstruction with the dimensions observed from 1985 onwards. The input of material due to the erosion of cliffs located to the south of the mouth of  $42,895 \text{ t yr}^{-1}$  (Cruz-Colín, 1994) is approximately 20% of the volume supplied by streams, similar to the 10–30% reported for the coasts of California (Best and Griggs, 1991). The quantitative contribution of the shoreward sediment transport by heavy surge of sediment banks located at depths greater than 10 m is not known.

prolongación a manera de punta, lo que hizo disminuir el ancho de la boca a 220 m aun cuando ésta registró erosión.

La tendencia de la boca a disminuir su ancho a una razón de 17.6 m año<sup>-1</sup> resume el comportamiento general observado de 1972 a 2003. Esta razón debe ser tomada con cautela ya que tanto el número de fotografías e imágenes disponibles como la presencia de eventos episódicos, como los observados en el periodo 1978–1980, que ocasionaron razones de cambio de la PLP de cientos de metros por año, influyen en la estimación de dicha tendencia y en la medida del ajuste reportado  $r^2 = 0.52$ . Además, dicha tendencia no proporciona información sobre la etapa de 1985 a 1993, en la que dos barras determinaron el ancho y la posición relativa de la boca. Los cambios de área de las estructuras que delimitan la boca son útiles para explicar el comportamiento del ancho de la boca, mas no son suficientes dada la posibilidad de que el crecimiento de área se presente en el sentido transversal y no afecte el ancho de manera directa.

El arrastre pluvial asociado con las tormentas ocurridas durante los inviernos de 1978, 1980 y 1983, aportó en cada año el doble del volumen promedio de sedimentos aportados en 34 años (Pozos-Salazar, 1985), lo cual contribuyó a modificar la posición de los canales de marea y por ende la circulación en las inmediaciones de la boca. De tener un canal principal para el intercambio de agua por marea de 1972 a 1978, la boca pasó a un sistema de cuatro canales en 1980.

Los volúmenes extraordinarios de sedimentos aportados durante la etapa de 1978 a 1983 contribuyeron a obstruir dos canales de marea: el que fue canal principal de marea de 1972 a 1978, situación observable en la escena de 1985, y el canal que sirvió de límite interno a la barra de arena al sur de la boca hasta 1980. De estas obstrucciones y por la forma de crecer de ambas barras, se puede inferir que el oleaje y sus corrientes litorales tuvieron mayor participación en el reacomodo de los excedentes de sedimento disponibles que la capacidad de auto-dragado del estero durante el reflujó de marea.

La formación y mantenimiento de la barra que se formó en la parte norte de la boca, al menos de 1985 a 1993, sugieren la existencia de un transporte litoral de noreste a suroeste y de una fuente al noroeste de la boca, o bien que los bancos de arena depositados frente a la boca, después del periodo lluvioso de 1978 a 1983, funcionaron como fuente y que al disminuir su volumen el reflujó de la marea debió superar al transporte litoral que la mantenía y terminó por erosionarla. De haberse mantenido la tendencia observada en la razón de cambio en la parte norte por la barra, ésta debió desaparecer durante 1996–1997.

Los cambios en la forma y dimensiones de las estructuras que delimitaron la boca de 1985 en adelante contrastan con los de 1972–1978, lo que sugiere relacionarlos con los efectos de las tormentas invernales de 1978 a 1983, más que con el material erosionado de los cantiles o los bancos de sedimento profundo. Por un lado, las tormentas generaron oleaje que afectó las costas de California y Baja California (Dormurat, 1978; González-Calvillo y Cupul-Magaña, 1986) y debieron erosionar la parte distal de la barra de arena que funciona como

The difference in areas between the maps of 1978 and 2003 for the tip of the southern sand bar is approximately 53 ha, of which 26 ha filled the lagoon basin. This reduction in the space of the basin must be added to that caused by the dike constructed in the 1980s that delimited an area of 33 ha and modified the internal dynamics of the natural processes (O'Brien, 1969; Ibarra-Obando and Escofet, 1987; González-Yajimovich and Escofet, 1991; Ibarra-Obando and Poumián-Tapia, 1991), and to the effect of the exceptional volumes of sediment supplied during 1978–1983 (Pozos-Salazar, 1985; Pou-Alberú and Pozos-Salazar, 1992) that were trapped in the inner part of PBE and that must have reduced its volume. A reduction in the volume of the basin indicates a reduction in the tidal prism and flushing capacity in the mouth region, since the magnitude of the flux is proportional to the volume of water that exits in the period of time between high and low tide. Small changes in the magnitude of the tidal flux cause significant changes in its sediment carrying capacity (Ortiz *et al.*, 2003), and the longshore transport caused by wave action must have increased the area of the tip of the southern sand bar, thus reducing the width of the mouth.

### Acknowledgements

This study was supported by CONACYT (SEP-2004-C01-47656/A-1) and by UABC as part of their research project support program.

English translation by Christine Harris.

---

límite sur de la boca, y por otro, sus lluvias asociadas aportaron volúmenes extraordinarios de agua y sedimentos (Pozos-Salazar, 1985) que permitieron su reconstrucción con las dimensiones observadas de 1985 en adelante. La contribución de material por la erosión de los cantiles al sur de la boca del EPB de 42,895 t año<sup>-1</sup> (Cruz-Colín, 1994) es aproximadamente 20% del volumen aportado por los arroyos, similar al porcentaje observado en las costas de California (10–30%; Best y Griggs, 1991), desconociéndose la contribución cuantitativa del transporte de sedimento hacia la costa por oleaje extremo de los bancos de sedimentos localizados en profundidades mayores a 10 m.

La diferencia de áreas entre las escenas de 1978 y 2003 para la punta de la barra de arena que limita el sur de la boca es de aproximadamente 53 ha, de las cuales 26 ha rellenaron la cuenca de la laguna. Esta reducción en el espacio de la cuenca se debe sumar al ocasionado por el dique construido en los años ochenta que delimitó un área de 33 ha y que modificó la dinámica interna de sus procesos naturales (O'Brien, 1969; Ibarra-Obando y Escofet, 1987; González-Yajimovich y Escofet, 1991; Ibarra-Obando y Poumián-Tapia, 1991), más el efecto de los volúmenes extraordinarios de sedimentos aportados durante 1978–1983 (Pozos-Salazar, 1985; Pou-Alberú y Pozos-Salazar, 1992) que quedaron atrapados en la parte interna del EPB y que

debieron reducir su volumen. Al reducir el volumen de la cuenca del EPB debió disminuir el prisma de marea y la capacidad de autodragado en la región de la boca, debido a que la magnitud del refluo es proporcional al volumen de agua que se evacua entre pleamar y bajamar, y a que pequeños cambios en la magnitud del refluo ocasionan grandes cambios en su capacidad de arrastre de sedimentos (Ortiz *et al.*, 2003) ocasionando que el transporte litoral debido al oleaje aumentara el área de la punta de la barra de arena al sur de la boca y se redujera el ancho de la boca.

### Agradecimientos

Al CONACYT por el apoyo SEP-2004-C01-47656/A-1 y a la UABC por el apoyo dentro del marco de la 9ª Convocatoria de Apoyo a Proyectos de Investigación.

### Referencias

- Best, T.C. and Griggs, G.B. (1991). A sediment budget for the Santa Cruz littoral cell, California. From the shoreline to the abyss. Soc. Sediment. Geol. Spec. Publ. No. 46: 35–50.
- CDB, California Department of Boating and Waterways and State Coastal Conservancy (2002). California Beach Restoration Study. Sacramento, California.
- Cruz-Colín, M.E. (1994). Balance sedimentario de la Bahía de Todos Santos, BC, México. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México, 77 pp.
- Cupul-Magaña, L.A., Cupul-Magaña, A.L., Núñez-Cornú, F.J. y Gil-Silva, E. (2004). El evento erosivo de la playa de Mismaloya, Jalisco, México. *Cienc. Mar.*, 30(3):417–425.
- Dormurat, J.W. (1978). Selected coastal store damage in California. Winter of 1977–1978. *Shore Beach*, 46(3): 15–20.
- Gaad, P.E. (1997). Limitations of “averaging” coastal survey data in the determination of coastal boundaries. In: O.T. Magoon, H. Converse, B. Baird and M. Miller-Henson (eds.), *California and the World Ocean '97. Conference Proc.*, pp. 966–973.
- González-Calvillo, A. (1980). Estabilidad y habilidad natural de autodragado en la boca del Estero de Punta Banda. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México, 42 pp.
- González-Calvillo, A. y Cupul-Magaña, L. (1986). Causas de erosión de Playas de Tijuana, BC, durante el periodo 1975–1985. *Cienc. Mar.*, 12(3): 82–94.
- González-Yajimovich, O. and Escofet, A. (1991). Ecological and geomorphic impact on the destruction of a coastal sand dune system in a sand pit. *Proc. 7th Symp. Coast Ocean Management*, pp. 2877–2882.
- Hayes, M.O., Hulme, L.J. and Wilson, S.J. (1974). The importance of tidal deltas in erosional and depositional history of barrier islands. *Geol. Soc. Am. Abstr. with Program* 6: 785.
- Ibarra-Obando, S. and Escofet, A. (1987). Industrial development effects on the ecology of a Pacific Mexican estuary. *Environ. Conserv.*, 14(2): 135–141.
- Ibarra-Obando, S. and Poumián-Tapia, M. (1991). The effect of tidal exclusion on salt marsh vegetation in Baja California, Mexico. *Wetlands Ecol. Manage.*, 1(3): 131–148.
- Komar, P.D., Díaz-Méndez, G.M. and Marra, J.J. (2001). Stability of the New River Spit, and the position of Oregon's beach zone line. *J. Coast. Res.*, 17(3): 625–635.
- Legg, M.R., Wong O., V. and Suárez V., F (1991). Geological structure and tectonics of the inner continental borderland of Northern Baja California. In: P. Douphin and B. Simonpit (eds.), *The Gulf and Peninsular Province of California. Am. Assoc. Pet. Geol. Mem.*, 47: 145–177.
- Lizárraga-Arciniega, R. (1976). Variaciones estacionales de la playa en la Bahía de Todos Santos, Baja California. *Cienc. Mar.*, 3(1): 30–50.
- Lizárraga-Arciniega, R., Chee-Barragán, A., Gil-Silva, E., Mendoza-Ponce, T. and Martínez-Díaz-de-León (2003). Effect of El Niño on the subaerial beach Playas de Rosarito, BC, México. *Geoffis. Int.*, 42(3): 419–428.
- Martínez-Díaz-de-León, A., Nava-Button, C. y Ocampo-Torres, F. (1989). Estadística de oleaje en la Bahía de Todos Santos, BC, de septiembre de 1986 a agosto de 1987. *Cienc. Mar.*, 15(3): 1–20.
- Minnich, R.A., Franco-Vizcaino, E. and Dezzani, R.J. (2000). The El Niño/Southern Oscillation and precipitation variability in Baja California, Mexico. *Atmósfera*, 13: 1–20.
- O'Brien, M.P. (1969) Dynamics of tidal inlets. *Mem. Simp. Int. Lagunas Costeras. UNAM-UNESCO*, 28–30 November 1967, México, DF, pp. 397–346.
- Ortiz, M., Huerta-Tamayo, L. y Hinojosa, A. (2003). Transporte de sedimento por tracción de marea en el Estero de Punta Banda, Baja California, México. *GEOS*, 23(3): 283–294.
- Patterson, J.J. (1997). Public beach or private backyard: A case study of Del Mar Beach and how the sand was divided up. In: O.T. Magoon, H. Converse and B. Baird (eds.), *California and the World Ocean '97. Conference Proc.*, pp. 178–206.
- Pérez-Higuera, R. y Chee-Barragán, A. (1984). Transporte de sedimentos en la Bahía de Todos Santos, BC. *Cienc. Mar.*, 10(3): 31–52.
- Pou-Alberú, S. y Pozos-Salazar, G. (1992). Cantidad de sedimento drenado hacia la costa del Pacífico en el noroeste de Baja California, México. *Cienc. Mar.*, 18(3): 125–141.
- Pozos-Salazar, G. (1985). Cantidad de sedimento drenado hacia el Océano Pacífico por los principales ríos del norte de Baja California, 1950–1983. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México.
- Pritchard, D.W., De la Paz-Vela, R., Cabrera-Muro, H., Farreras-Sanz, S. y Morales, E. (1978). Hidrografía física del Estero de Punta Banda. Parte I: Análisis de datos. *Cienc. Mar.*, 5(2): 1–23.
- Reyes-Coca, S. y Troncoso-Gaytán, R. (2004). Modulación multi-decenal de la lluvia invernal en el noroeste de Baja California. *Cienc. Mar.*, 30: 109–118.
- Stauble, D.K. (2003). The use of shoreline change mapping in coastal engineering project assessment. *J. Coast. Res. Spec. Issue* 38: 178–206.
- Torres-Navarrete, C.R. (1991). Transporte litoral en una zona de la Bahía de Todos Santos, BC, México, durante abril, agosto y octubre de 1985. *Cienc. Mar.*, 17(3): 59–71.