

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**"CAMBIOS EN LA LINEA DE PLAYA EN LA
BOCA DEL ESTERO DE PUNTA BANDA"**



**TESIS
PARA OBTENER EL TITULO DE
OCEANOLOGO
PRESENTA
HECTOR FRANCISCO CASTILLO VALDEZ**

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, JULIO DE 1995.


RESUMEN

Por medio de la aplicación de técnicas computacionales se definió la línea de playa en la boca del estero de Punta Banda de 8 fotografías aéreas y 1 imagen de satélite, tomadas entre 1970 y 1993. Comparando las líneas de playa obtenidas se aprecian tres etapas, un período de estabilidad entre 1970 y 1977, un período de dominio de procesos erosivos hasta 1985 y posteriormente una etapa de dominio de procesos de depositación. Como consecuencia se presentaron cambios en la forma y dimensión de la boca del estero, que no regresa ni a su forma ni posición inicial. Los intensos cambios erosivos se asocian con la presencia simultánea de eventos extremos, de oleaje mayor de 4m, nivel del mar 2m sobre el nivel de bajamar media inferior e intensas precipitaciones de mas de 40mm diarios, que provocaron altos volúmenes de escurrimiento en el arroyo San Carlos que desemboca frente a la boca. La inusual conjunción de valores extremos en estos parámetros fueron consecuencia de severas tormentas invernales que afectaron el sur de California y norte de Baja California entre 1978 y 1983. Durante los períodos de estabilidad y de depositación no se registra la conjunción de eventos extremos de oleaje, nivel del mar y precipitación.


CAMBIOS EN LA LINEA DE PLAYA EN LA
BOCA DEL ESTERO DE PUNTA BANDA

TESIS
QUE PRESENTA
HECTOR FRANCISCO CASTILLO VALDEZ


APROBADA POR:



PRESIDENTE DEL JURADO
M.C. ROMAN LIZARRAGA ARCINIEGA



SINODAL PROPIETARIO
OCEAN. ROBERTO PEREZ HIGUERA



SINODAL PROPIETARIO
OCEAN. RIGOBERTO GUARDADO
FRANCE

AGRADECIMIENTOS

Al Creador, por la formidable experiencia de la existencia, por darme un cheque firmado en blanco que es mi vida. (Aún no tengo idea del monto del capital disponible).

A la familia, para mi no hay nada más importante.

Al M.C. Román Lizárraga Arciniega, gracias por la oportunidad de aprender tanto en tan poco tiempo, por su paciencia y por las palmadas de ánimo que siempre llegaron a tiempo. Nuca olvidaré la frase con la que mas de una vez me arengó: "Decídete cabrón".

Al Oc. Roberto Pérez Higuera por el cerro de trabajo realizado frente a la computadora con las imágenes, gracias también por la franca camaradería y esa forma siempre clara de decir las cosas.

Al Oc. Rigoberto Guardado France, por estar siempre dispuesto a resolver broncas, gracias por hecharme la mano durante la carrera, el servicio social y esta tesis.

A los amigos.

DEDICATORIA

A mis PADRES Héctor Francisco Castillo Ozuna y Francisca Valdez de Castillo, que me dieron una educación y principios a los que aún me aferro, por soltarme la rienda a tiempo, por apoyarme incondicionalmente.

A mis HERMANOS Miguel, Cinthia y Kristina, sé que su cariño no esta deslindado.

A las familias que me cobijaron en Ensenada: Mitzuo y Toñita, Doña Lilia, Rubén y Dany Barreto, Los Amador.

Al Berna, el Javi y Marcelo de la prepa, al Consta, El Vaquero, Enrique, Easy, Chan en la carrera, Al Simpson y el Rana en la cancha, a Rubén en las motos, al Wax y al Yoyín en la Playa, al Christian en el rock, al Mariano en la deprimencia, a los malillas del Papas de Rosarito, al quorum dominical y finalmente pero no al último a Yolanda. A todos los compas.

INDICE

1. INTRODUCCION	1
1.1 OBJETIVO	4
1.2 HIPOTESIS	4
2. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	4
3. METODOLOGIA	8
3.1 FOTOGRAFIAS	8
3.2 INFORMACION CLIMATICA	16
3.2.1 OLEAJE	16
3.2.2 NIVEL DEL MAR	18
3.2.3 PRECIPITACION	18
4. RESULTADOS	19
4.1 CONDICIONES CLIMATICAS GENERALES	19
5. DISCUSION	25
6. CONCLUSION	47
7. REFERENCIAS	49

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Localización del área de estudio.....	5
Figura 2.- Fotografías aéreas del área de estudio, (a)1970, (b)1972	9
Figura 3.- Fotografías aéreas del área de estudio, (a)1980, (b)1985	10
Figura 4.- Fotografías aéreas del área de estudio, (a)1989, (b)1990	11
Figura 5.- Fotografías aéreas del área de estudio, (a)1992, (b)1993	12
Figura 6.- Imagen LanSat 1979 del Estero de Punta Banda.....	13
Figura 7.- Fotografía aérea 1972 y mapa base de la boca del estero de Punta Banda.....	14
Figura 8.- Localización de las estaciones de medición de oleaje, precipitación y nivel del mar en la bahía de Todos Santos	17
Figura 9.- Estaciones de medición de oleaje en el sur de California	22
Figura 10.- Promedio semanal de alturas de ola significantes máximas diarias en la bahía de Todos Santos	23
Figura 11.- Promedio mensual de precipitación de la estación #16 Ensenada, B.C.....	23
Figura 12.- Cambios en la línea de playa de 1970 a 1972	26
Figura 13.- Apertura de la boca del estero de Punta Banda entre 1970 y 1993	27
Figura 14.- Areas de depositación-erosión para las playas en la boca del estero de Punta Banda.....	27
Figura 15.-Fotografía aérea oblicua de la boca del estero de Punta Banda, Julio de 1977	28
Figura 16.- Cambios en la línea de playa de 1972 a 1979	30
Figura 17.- Oleaje, nivel del mar y precipitación. (a)Enero-Marzo de 1978, (b)Enero-Marzo de 1980	31
Figura 18.- Esguerrimiento anual acumulado del Arroyo San Carlos	33
Figura 19.- Precipitación acumulada por inviernos (nov-abr)	33

Figura 20.- Cambios en la línea de playa de 1979 a 1980	35
Figura 21.- Oleaje, nivel del mar y precipitación Enero-Marzo de 1983	37
Figura 22.- Cambios en la línea de playa de 1980 a 1985	38
Figura 23.- Cambios en la línea de playa de 1985 a 1989	40
Figura 24.- Oleaje, nivel del mar y precipitación. (a)Enero-Marzo de 1986, (b)Enero Marzo de 1988.....	42
Figura 25.- Cambios en la línea de playa de 1989 a 1990	43
Figura 26.- Cambios en la línea de playa de 1990 a 1992	45
Figura 27.- Cambios en la línea de playa de 1992 a 1993	46

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Eventos de oleaje extremo mayor
de 3m para el sur de California.....20

1. INTRODUCCION

La compleja dinámica de los procesos que se llevan a cabo en la triple frontera océano-continente-atmósfera influyen de manera continua en la forma de la costa. De los principales procesos costeros que intervienen en la configuración y morfología de la playa son la tasa de ingreso-egreso de sedimento, las características del oleaje que arriba a la misma, la posición del nivel del mar, la precipitación pluvial, el viento y desde luego la intervención humana.

La razón de ingreso-egreso de arena es susceptible de tener variaciones temporales conforme a las condiciones generales climatológicas y las características geológicas de la región, en áreas desérticas el aporte de sedimentos por los arroyos sigue patrones estacionales muy marcados conforme a las cortas temporadas lluviosas. El material que es introducido al sistema litoral es rápidamente distribuido por las corrientes litorales cuya magnitud y dirección dependen del patrón de oleaje que arriba a la zona. El oleaje es determinante como factor de cambio para la costa, sin embargo su capacidad erosiva es susceptible de aumentar con relación a la posición del nivel del mar ya que la combinación de oleaje alto con una posición elevada del nivel del mar implica condiciones altamente erosivas para la franja costera. El viento es responsable de la generación de dunas costeras, que además de actuar como reservas de sedimentos para el sistema litoral, desempeñan un papel importante como amortiguadoras de la energía del oleaje.

A estos procesos naturales, es necesario adicionar la influencia humana, que con acciones en corto plazo, pueden provocar efectos duraderos; por ejemplo, la construcción de una presa para la captación de agua para consumo humano y la construcción de instalaciones portuarias para la generación de áreas protegidas contra el oleaje producen en común, la reubicación de zonas erosionales o acrecionales de grandes segmentos de playa en virtud de la disminución de material que ingresa al sistema litoral en el primer caso, la modificación en las características del patrón de oleaje y la consecuente redistribución de volúmenes de arena en el segundo caso.

Una de las principales actividades económicas de la zona costera de Baja California es la actividad turística, lo que se refleja en el rápido crecimiento de asentamientos urbanos, habitacionales e industriales. Esta actividad se ha desarrollado sin un ordenamiento armónico en la explotación del recurso costero que se manifiesta en problemas tanto de deterioro ambiental, como en las comunidades aledañas a las costas(Bennett, 1988).

En particular, en el Estero de Punta Banda, en el interior de la Bahía de Todos Santos, se ha intensificado la urbanización sobre la barra arenosa a costa de la destrucción de los campos de dunas en el área (Gonzalez-Yajimovich y Escofet, 1991), así como la disminución del área de marismas debido a los trabajos de dragado y relleno en la parte interior del estero en 1983(Ibarra-Obando y Escofet, 1987).

La boca del Estero de Punta Banda, como única conexión entre la laguna y la bahía, es una componente sobre la que depende la existencia del cuerpo lagunar, su posición se considera fundamental para mantener el régimen hidrológico interno del estero.

O'Brien y Zeevaert (1968) señalan que la posición de la boca se encuentra en una aparente condición de equilibrio aún cuando el canal de la boca cambia de posición. A partir de la evaluación del transporte de sedimento en la boca del estero, Gonzalez-Calvillo (1980) concluye que la predominancia del paso de arena se efectúa a través de la barra sumergida externa. Las corrientes de marea que generan el llenado y vaciado de la laguna dan lugar a que el canal presente una buena capacidad de autodragado y un buen grado de estabilidad; sin embargo, posterior a los datos analizados por ambos autores, la boca muestra cambios sustanciales tanto en dimensiones como en posición cuyas causas no están documentadas (Ibarra-Obando, 1990). En este trabajo se pretende hacer la descripción de tal comportamiento y explicar las posibles causas que los originaron, para una mejor comprensión de la evolución de un cuerpo de agua de gran valor ecológico y económico, cuyo tiempo de vida se considera, de por sí, geologicamente efímero.

1.1 OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es describir la variabilidad espacio-temporal de la línea de playa en la boca del Estero de Punta Banda durante el período de 1970 a 1993, y analizar la influencia de las condiciones oceanográficas y climáticas como factores de cambio sobre la zona de estudio.

1.2 HIPOTESIS

La línea de playa en la boca del Estero de Punta Banda presenta variaciones alternas en las que predominan los procesos erosionales y depositacionales asociados a la presencia de condiciones climáticas y oceanográficas excepcionales.

2. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

El Estero de Punta Banda, localizado a 13km de la ciudad de Ensenada en la Bahía de Todos Santos (fig.1), es una laguna costera dominada por mareas, tiene una forma de L cuyo brazo menor se proyecta tierra adentro en dirección sureste con una longitud aproximada de 3km; el brazo de mayor longitud se extiende 7.5km paralelo a la línea de costa con dirección nor-noreste, con ésta misma orientación se encuentra una barra arenosa que separa físicamente la laguna de la Bahía de Todos Santos; la barra se tiene su origen en la base de Punta Banda y se

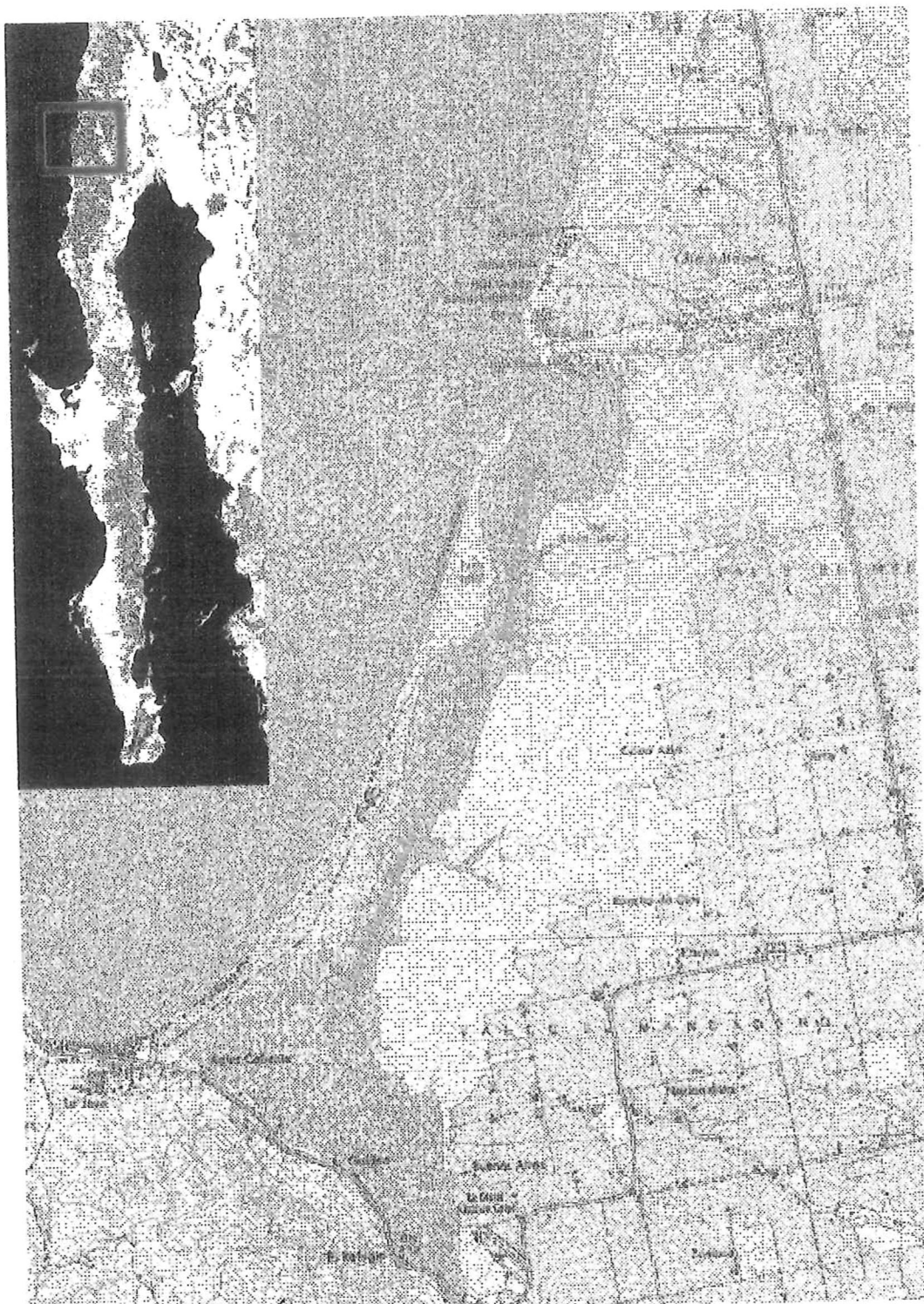


Figura 1. Localización del área de estudio

extiende hacia el norte, en su extremo se encuentra la boca del estero que constituye la única comunicación entre las aguas del estero con las de la bahía.

La posición y forma de la boca es variable. Por lo general su anchura no es mayor de 400m y en el canal de circulación principal de la boca la profundidad promedio es de 7.5m aunque se han registrado profundidades máximas de 12.5m poco después de un período prolongado y poco usual de tormentas (de la Paz-Vela, 1978). Hacia la parte interna del estero el canal cambia su dirección siguiendo la forma de la laguna y disminuyendo su profundidad a no más de 1m en las partes más internas.

El clima en la zona es de tipo mediterráneo desértico de tal manera que la evaporación en la superficie del estero excede la escasa precipitación (Acosta-Ruiz y Alvarez-Borrego, 1974; Celis-Ceseña y Alvarez-Borrego, 1975). Durante los meses de invierno se presenta la temporada de lluvias, solo entonces se da el escurrimiento de agua continental al interior del estero por medio de los Arroyos San Carlos, que desemboca frente a la boca del estero y La Grulla (Las Animas), que desemboca en su extremo sureste.

Las características del oleaje en la zona corresponden a las estaciones del año: durante invierno-primavera se presentan condiciones de oleaje alto y proveniencia del noroeste y oeste, mientras en verano-otoño el oleaje es de menor altura y proviene del sur-suroeste (Wiegel, 1993). La forma de la Bahía de Todos Santos revela que las playas en su interior se encuentran expuestas al oleaje alto predominante durante el invierno que penetra por las ventanas entre punta San

Miguel e Isla Todos Santos, y entre Isla Todos Santos y Punta Banda. Punta Banda presenta protección del oleaje distante proveniente del cuadrante sur y suroeste que predomina durante la temporada de verano-otoño.

Como producto de este régimen de oleaje se genera un transporte litoral neto hacia el norte a lo largo de la barra, evidenciado por el crecimiento de la misma (O'Brien y Zeevaert, 1968; Cruz-Blancas, 1985; Ahumada-Sempoal, 1993). La existencia de este transporte hacia el norte ha sido descrita y cuantificada en varios estudios, aún cuando éstos difieren en sus resultados del gasto sólido. (Baca-Chacón, 1981; Méndez-Arriaga, 1982; Pérez-Higuera y Chee-Barragán, 1984; Jiménez-Pérez, 1988; Torres-Navarrete, 1991; Torres-Navarrete y Martínez-Díaz, 1993)

Las mareas son semidiurnas con un rango de 2m, similares a las determinadas en el puerto de Ensenada (Pritchard, et.al. 1978); el área transversal de la boca es de 1080m² dando lugar a un prisma mareal de 22.7 millones de m³ (Gonzales-Calvillo, 1980). El intercambio de agua y sedimento es intenso ya que hasta un 60 % de la columna de agua de el estero es removida en un ciclo mareal (de la Paz -Vela, 1978).

3. METODOLOGIA

3.1 FOTOGRAFIAS

Se analizaron las variaciones de la línea de playa en la boca del Estero de Punta Banda mediante la comparación de fotografías aéreas obtenidas por INEGI y otras organizaciones, en los años de 1970 (fig. 2a), 1972 (fig. 2b), 1980 (fig. 3a), 1985 (fig. 3b), 1989 (fig. 4a), 1990 (fig. 4b), 1992 (fig. 5a) y 1993 (fig. 5b), y una imagen MSS de Landsat de 1979 (fig. 6) Se tomó como base para la comparación el mapa topográfico de la zona publicado por INEGI obtenido a partir de la fotografía aérea de 1972(fig. 7). Se utilizó como referencia una fotografía aérea tomada en 1977, debido a que es una fotografía oblícua no se procesó como las antes mencionadas.

Las fotografías aéreas como el mapa de INEGI se sometieron a un barrido óptico (scanning) con una resolución de 600 puntos por pulgada (dpi) para almacenarse en memoria digital.

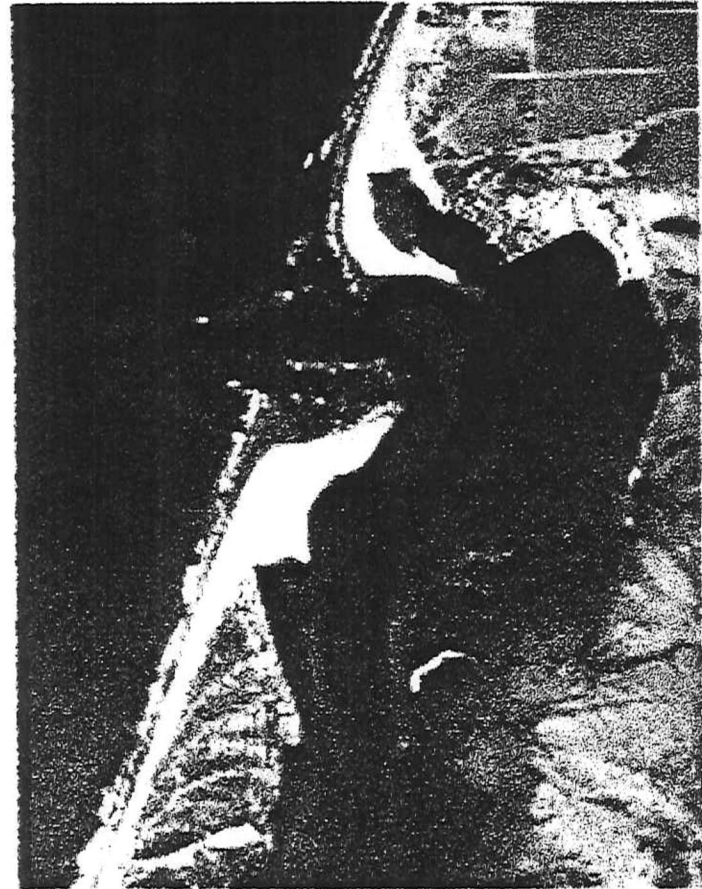
El mapa INEGI se corrigió geoméricamente desechando las deformaciones producto del barrido óptico, de manera que pudiera ser utilizado como base para las correcciones y adecuación de escalas en las fotografías aéreas. La corrección geométrica del mapa de INEGI se realizó por medio de la definición de una matriz de correspondencia entre las coordenadas (x,y) de la retícula UTM en el mapa ópticamente barrido, con el valor real de las coordenadas de la retícula UTM.



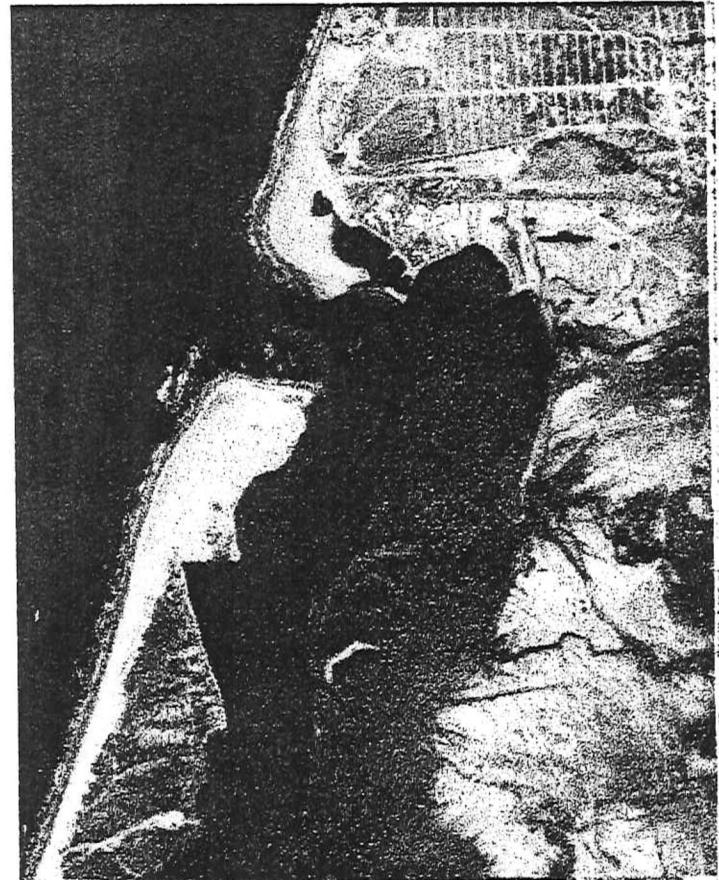
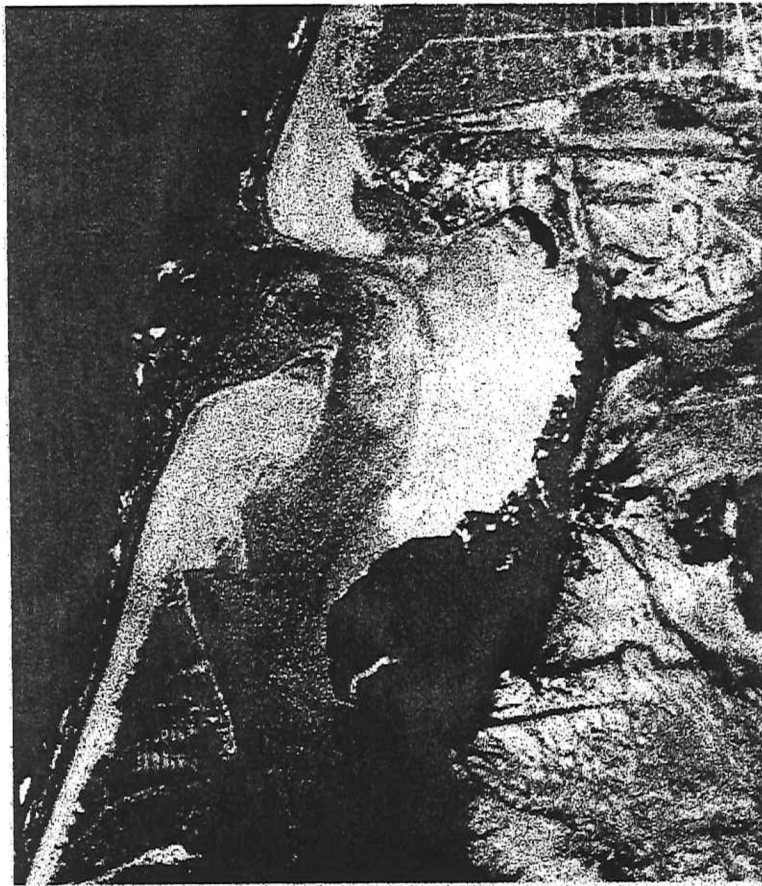
(a)

(b)

Figura 2. Fotografías aéreas del área de estudio:
(a) 1970, (b) 1972.



(a) (b)
Figura 3. Fotografías aéreas del área de estudio:
(a) 1980, (b) 1985.

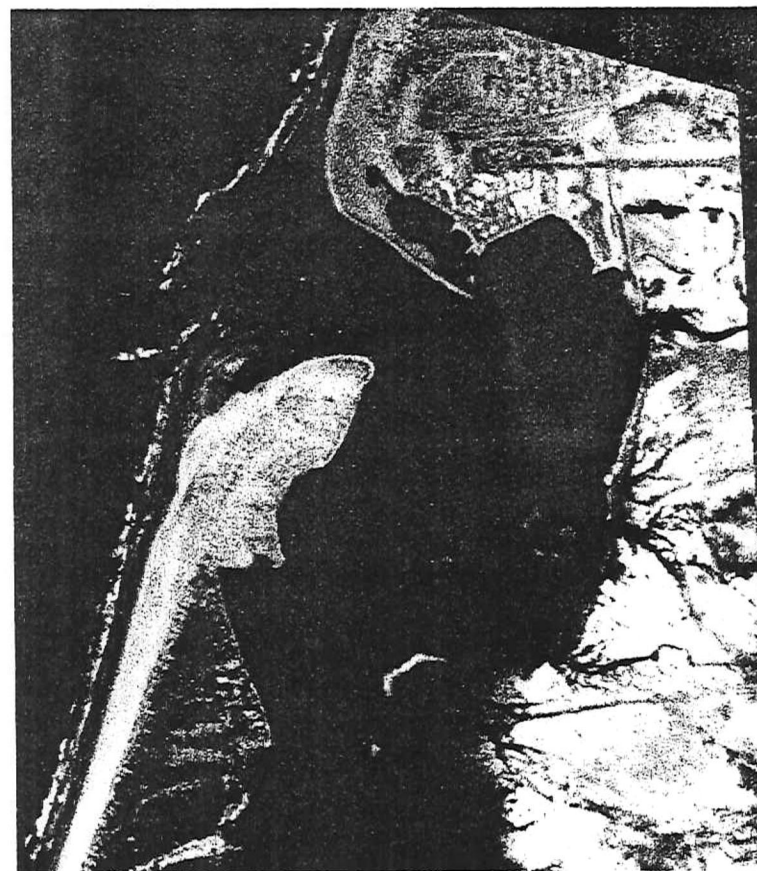
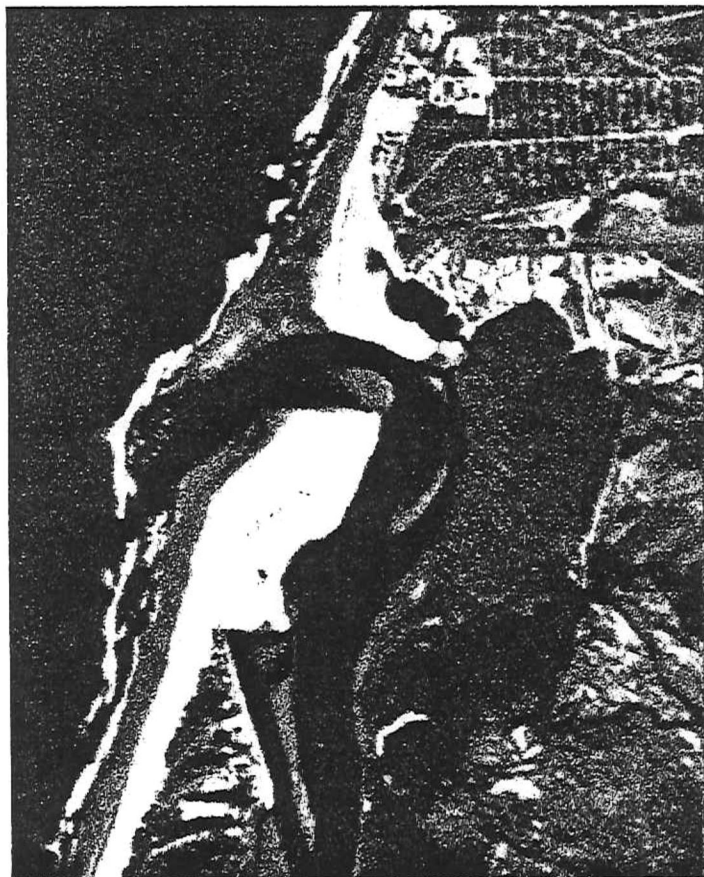


(a)

(b)

Figura 4. Fotografías aéreas del área de estudio:

(a) 1989, (b) 1990.



(a) (b)
Figura 5. Fotografías aéreas del área de estudio:
(a) 1992, (b) 1993.

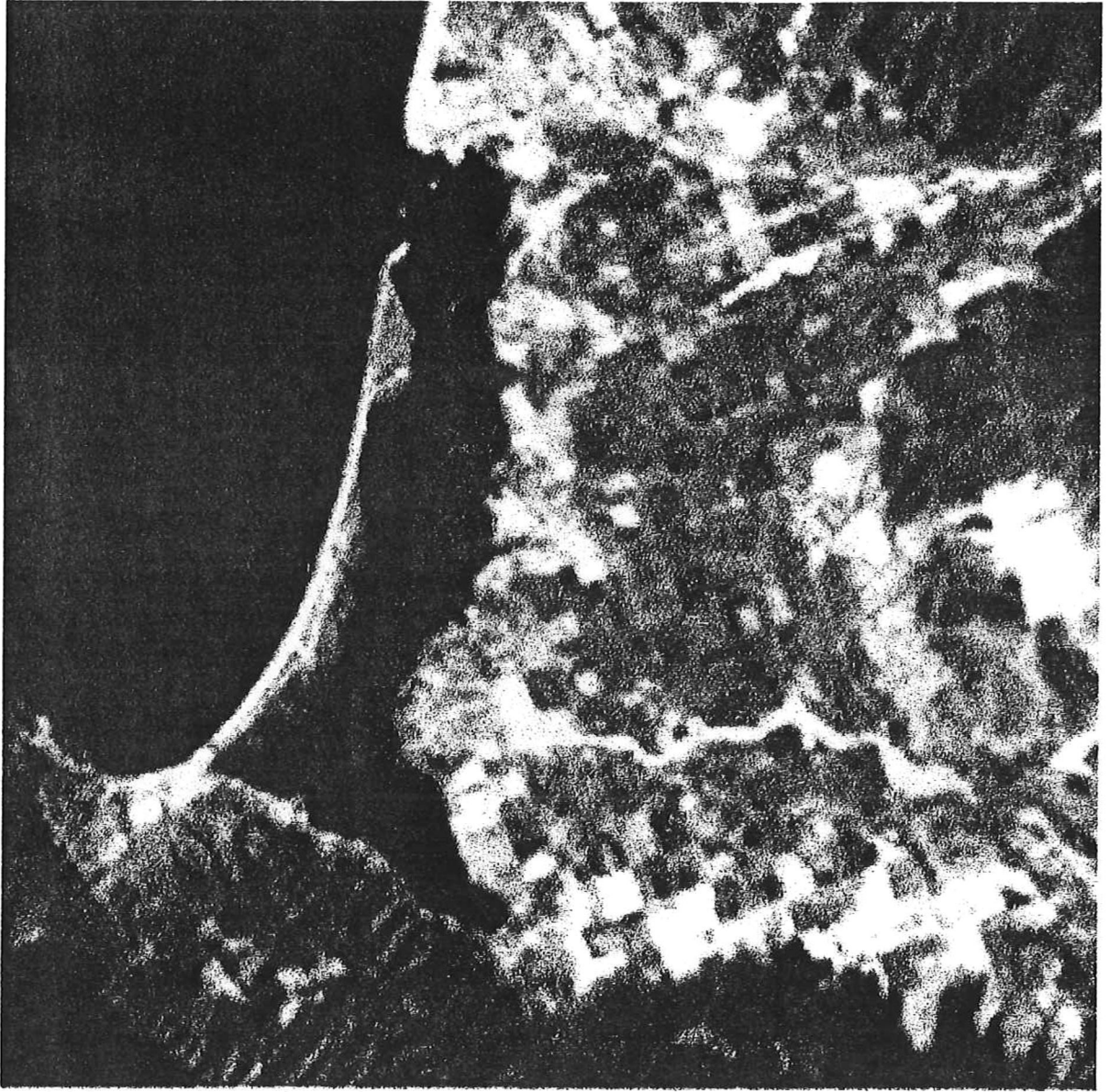


Figura 6. Imagen LanSat 1979 de la boca del EPB.

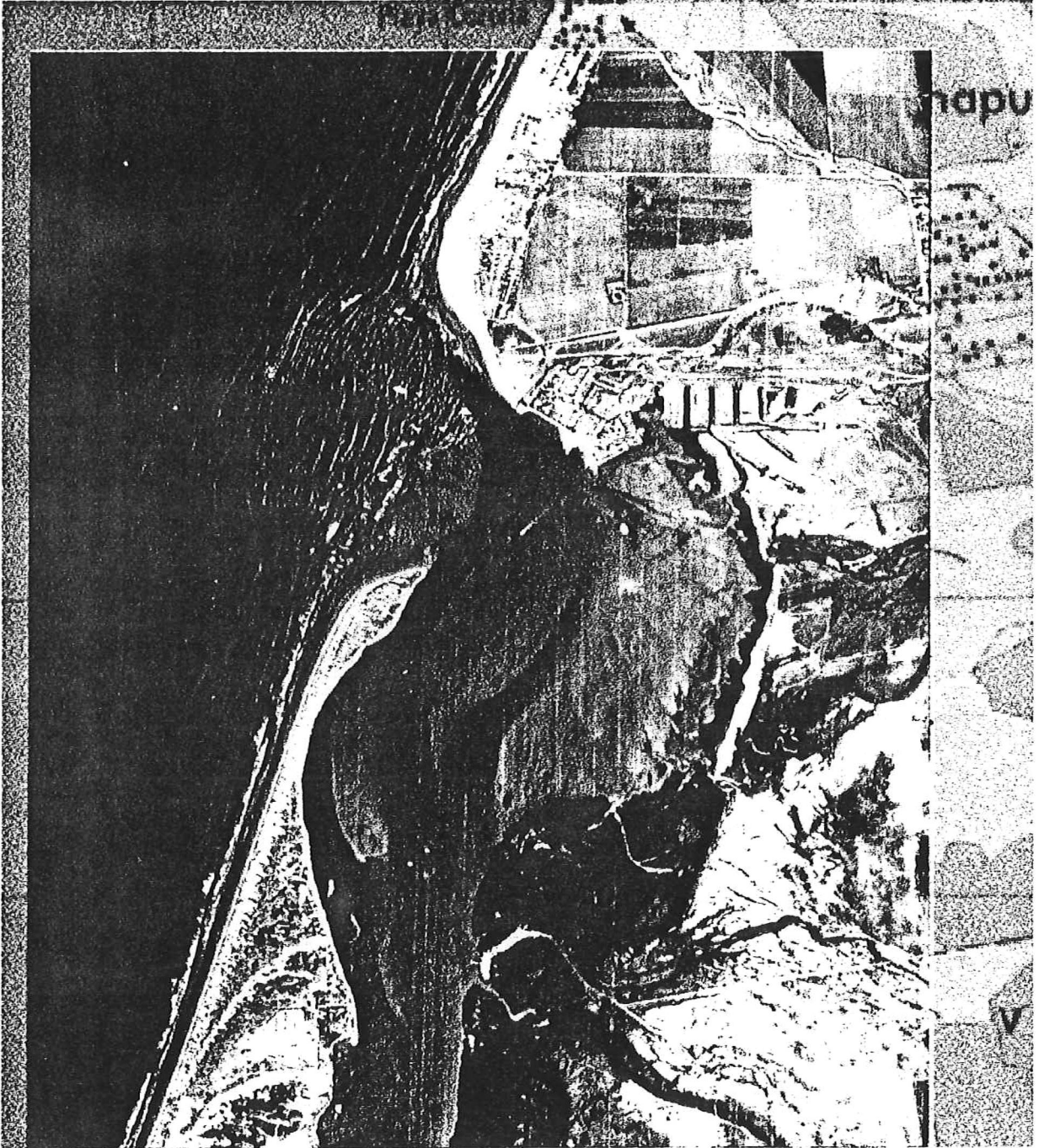


Figura 7. Fotografía aérea 1972 y mapa base de la boca del EPB.

La adecuación de escalas en las fotografías aéreas se realizó por medio del establecimiento de una matriz de correspondencia, en este caso entre el mapa base geográficamente corregido y cada una de las fotografías. Para asignar los valores a introducirse en las matrices de correspondencia se procedió a la identificación de puntos de correspondencia claramente identificables tanto en el mapa base como en cada una de las fotografías aéreas. La selección de los puntos de correspondencia se hizo en base a la localización de construcciones, cruces de caminos y rasgos fisiográficos estables.

Por medio de las matrices de correspondencia se les asignó nuevos valores a las coordenadas de los puntos de correlación equivalentes a los del mapa base corregido. La aplicación de las matrices de correspondencia dió como resultado la homologación de las escalas entre cada imagen y al mismo tiempo la corrección de deformaciones inherentes a las técnicas de obtención de las mismas.

La localización de los puntos de control y la aplicación matricial se hicieron por medio del programa de manejo de imágenes IDRISI del que se obtuvo una equivalencia de 3m por unidad óptica(pixel).

La línea de playa se definió con respecto al nivel de marea alta donde se da el cambio de tonos oscuros (sedimento húmedo) a tonos claros (sedimento seco) identificable por el contraste en los valores de gris o número digital (DN).

Para la comparación de la posición de la línea de playa se elaboraron sobreposiciones de las líneas de playa de dos años consecutivos. La imagen de satélite se utilizó sólo como referencia debido a su baja resolución.

3.2 INFORMACION CLIMATICA

3.2.1 OLEAJE

Para la zona de estudio solo se cuenta con las mediciones llevadas a cabo por el Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) entre 1986 y 1987 frente a la rada del puerto (fig 8), en Ensenada (IIO, Reportes mensuales, Agosto de 1986-Mayo de 1987). Se realizó un análisis de los datos del IIO obteniéndose promedios semanales de alturas significantes máximas diarias con el fin de observar el patrón de comportamiento del oleaje a lo largo del período que abarcan los datos. La información de oleaje del IIO es de solo un año y no refleja las condiciones del oleaje en el período de más de 20 años que abarca el presente estudio, por lo cual se recurrió a otras fuentes.

En las costas de California se han realizado mediciones directas de oleaje en agua profunda de manera sistemática solo desde finales de la década de los 70's. Un análisis histórico de las condiciones de oleaje en la zona debe complementarse con predicciones de altura de ola (hindcasting) obtenidos a partir de los campos de presión barométrica disponibles desde principios de siglo (Seymour *et al*, 1984).

Los datos de oleaje utilizados en el presente estudio provienen de la información presentada por US Army Corps of Engineers (1989), Dormurat (1978) y Seymour *et al*, (1984), de predicciones (hindcasting) a partir de reportes meteorológicos, de oleaje extremo mayor de tres metros para el sur de California, además de los datos de altura de ola del Coastal Data Information Program, medidos por la boya de Mission Bay (MBB), que son datos de agua profunda



Figura 8.- Localización de las estaciones de medición de oleaje, precipitación y nivel del mar en la bahía de Todos Santos.

(> 150m); es pertinente apuntar que para oleaje distante proveniente del noroeste, que es predominante en los meses de invierno, las alturas de ola medida en MBB son 30% menores que las medidas en la boya de Begg Rock (US Army Corps of Engineers, 1989) y si bien los valores registrados en la boya de Mission Bay pueden estar subvaluados con respecto a otras fuentes de datos, reflejan de manera directa el comportamiento de los niveles de energía de oleaje que se observan a través del tiempo.

3.2.2 NIVEL DEL MAR

Junto con los datos de oleaje se presentan el estado del nivel del mar desde 1977 a 1988. Se promediaron los datos de nivel del mar registrados por CICESE en la rada portuaria (fig. 8) para obtener el nivel medio del mar, este a su vez se corrigió refiriéndolo al nivel de bajamar media inferior (NBMI), de esta manera cada dato de nivel del mar está referido al NBMI

3.2.3 PRECIPITACION

Los datos de precipitación fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) pertenecientes a la estación #16 Ensenada(fig. 8). Con el fin de tener un criterio para definir la intensidad de las precipitaciones y para definir el patrón de comportamiento de las mismas se obtuvieron los siguientes promedios de precipitación registrados en la estación #16: anual de 1950 a 1990, mensual de 1970 a 1990, y diario para el mismo período y solo para los días con ocurrencia de precipitaciones.

4. RESULTADOS

Los cambios en la línea de costa se presentan por medio de la sobreposición de la líneas de costa obtenidas de cada imagen. La sobreposición de las líneas de costa se realizó para dos años consecutivos, resaltándose las zonas de erosión y depositación. Se presenta una descripción de tales cambios asociándolos causalmente con las condiciones climáticas y oceanológicas predominantes durante el período que abarca cada figura.

4.1 CONDICIONES CLIMATICAS GENERALES

Se describe el patrón general del oleaje, nivel del mar y precipitación pluvial para la zona. Además se presentan gráficas que indican su comportamiento de manera conjunta y para una misma fecha durante los períodos donde se presenta la conjunción de eventos inusuales en estos parámetros. La interacción de estos fenómenos con los rasgos geomorfológicos de la zona sumados a la intervención humana influyen en la posición de la línea de costa (Anders & Byrnes, 1991).

Como lo muestran la tabla 1 el oleaje extremo tiene una marcada tendencia estacional y proveniencia SW-WNW (Seymour et al, 1984) una, lo que está de acuerdo con Wiegel (1993) y con los diversos reportes de tormentas y daños a la costa consultados (Cross, 1980; Dormurat, 1978; Habel, 1977; Komar, 1978; Coast of California Storm and Tidal Waves Study, 1988), además, según los análisis de refracción de Ahumada-Sempoal, M(1993) el oleaje con tal proveniencia es el que arriva con mayor energía directamente sobre el área de estudio.

TABLA 1.-
 Oleaje extremo mayor de 3 m calculado (hindcasting)
 De Seymour, R. et. al. (1984)

FECHA	ALTURA(m)	DIRECCION
21 feb 77	5.2	280
29 oct 77	5.5	299
16 ene 78	6	240
01 ene 80	4.7	272
17 feb 80	6.1	249
22 ene 81	4.3	258
28 ene 81	7	262
13 nov 81	4.9	284
01 dic 82	6.4	295
18 dic 82	6.4	288
25 ene 83	6.1	278
27 ene 83	7.3	279
10 feb 83	6.7	281
13 feb 83	4.9	268
01 mar 83	8.2	258
14 nov 83	5	290
03 dic 83	7	285
25 feb 84	6.4	300

La forma de la Bahía de Todos Santos revela que sus playas internas se encuentran protegidas de un amplio espectro de oleaje distante como se menciona previamente. Por tal razón y debido a que solo existen datos de un año, entre 1987 y 1988, para la zona se consideró como eventos extremos de oleaje una selección de eventos con alturas de ola mayor de tres metros medidos o calculados en agua profunda para el sur de California(fig. 9), que debido a su mayor energía y a la cercanía de las mediciones con el área de estudio tienen mayor posibilidad de afectar el área de estudio.

La figura 10 presenta los promedios semanales de alturas significantes máximas diarias de los datos obtenidos por el IIO entre 1986 y 1987, si bien el período de registro es muy corto se muestra la variación estacional del oleaje presentándose mayores alturas de ola en los meses de invierno.

La tendencia estacional de las precipitaciones pluviales en la zona es aún más marcada que con el caso del oleaje; como lo muestra la figura 11 las precipitaciones empiezan a registrar un aumento a partir de otoño siendo las mayores precipitaciones durante los meses de Enero, Febrero y Marzo, con una insignificante precipitación el resto del año.

Considerando que en promedio se presentan menos de 40 días con precipitación al año, se calculó la precipitación media diaria solo para los días con registros de lluvia. Se obtuvo un promedio de 7.96mm y una desviación standar de 10.09 para el período de 1970 a 1990. En base a lo anterior se definió como

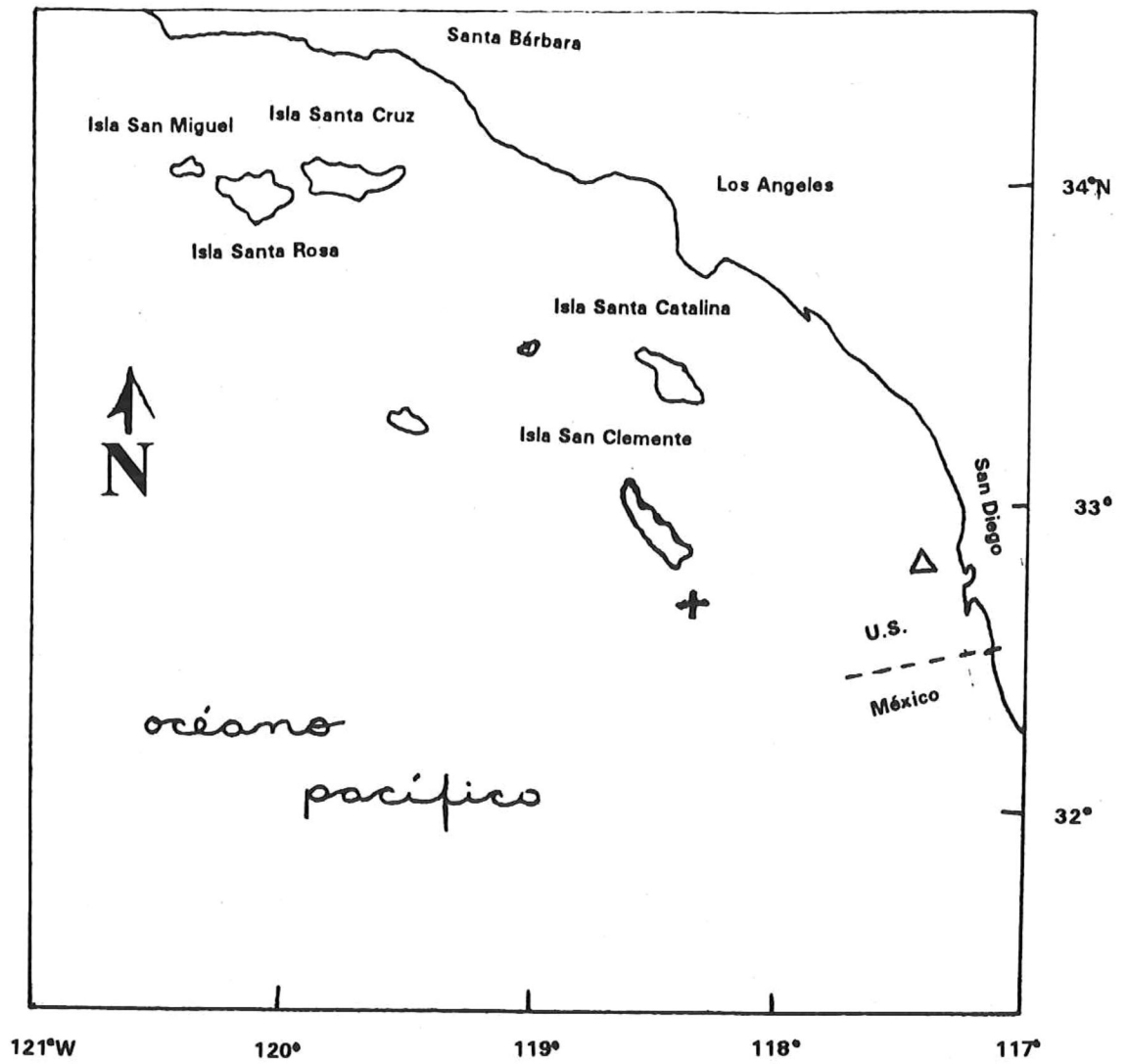


Figura 9. Localización de las estaciones de medición de oleaje para el sur de California, hindcasting(+) y la boya de Mission Bay.

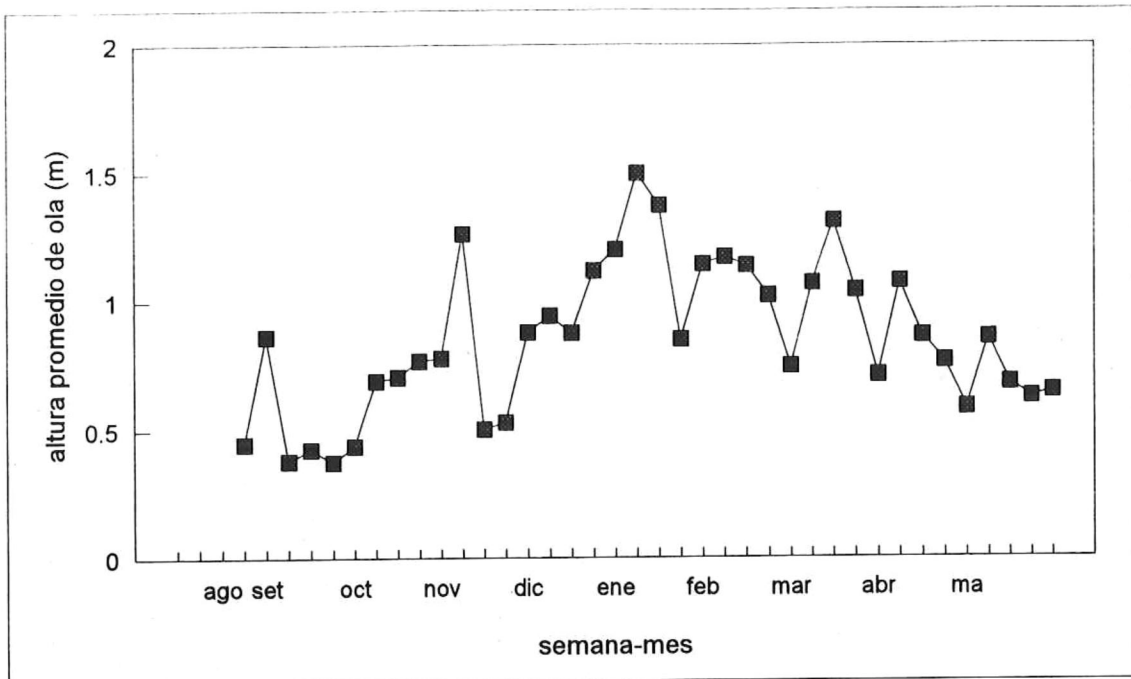


Figura 10
 Promedio semanal de alturas significantes máximas diarias en metros
 datos del IIO agosto de 1986-mayo de 1987

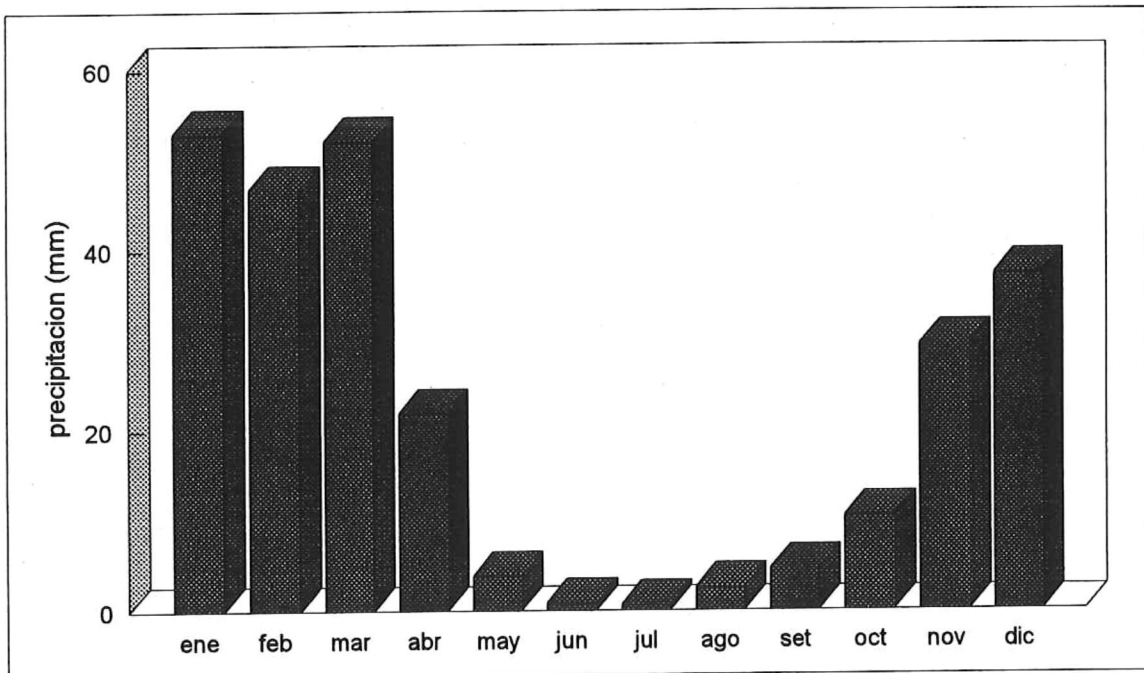


Figura 11
 Promedio mensual de precipitación en milímetros
 datos de la estación 16 Ensenada de 1950-1994 (CONAGUA)

evento extremo de precipitación todo valor diario de precipitación que excediera los 28mm (dos desviaciones standar por arriba de la media).

El criterio adoptado para la evaluación de condiciones extremas en el caso de la posición del nivel del mar es que todos aquellos datos que se encuentren por encima de 1.82m con respecto al NBMI se consideren eventos extremos ya que tales datos exceden el nivel superior de mareas para la zona.

Los datos conjuntos de oleaje, precipitación y nivel del mar durante los meses de Enero, Febrero y Marzo se presentan para aquellos inviernos en los que se conjugan simultaneamente eventos extremos así como inviernos característicos con condiciones normales.

5. DISCUSION

1970-1972: Durante este período se observa un proceso erosivo en el extremo de la punta de la barra(fig. 12), esta disminuye sus dimensiones pero mantiene su forma ahusada. La playa que limita la boca hacia el norte se ensancha hacia el oeste unos 60m aumentando alrededor de 35,000m² de área. La amplitud de la boca presenta en 1972 un aumento de 150m con respecto a 1970(fig. 13) como consecuencia del proceso erosivo.

Es factible que el cambio observado en la ubicación de la línea de playa sea solo parte de un movimiento de sedimento de carácter estacional, como lo describe Lizárraga-Arciniega (1972) ya que los cambios observados en este período se caracterizan por la redistribución del sedimento de las playas de la zona puesto que las áreas de depositación son similares a las de erosión (fig. 14). Además los fenómenos físicos registrados durante este lapso no presentan la conjuncion de eventos extraordinarios en los parámetros de oleaje, precipitación y nivel del mar.

1972-1979: Dentro de este período se presenta una fotografía utilizada como referencia (fig. 15) tomada en Julio de 1977 de la que se concluye que hasta entonces no se habían presentado cambios significativos en la zona de estudio.

Esta fotografía apoya la idea que el cambio que se presenta en la figura anterior es estacional ya que: la punta de la barra mantiene su forma ahusada. Sobre el extremo de la misma se puede observar una zona de dunas con vegetación, que indica la estabilidad y permanencia de las mismas y por lo tanto de la punta de la barra. La apertura de la boca no parece presentar mayores

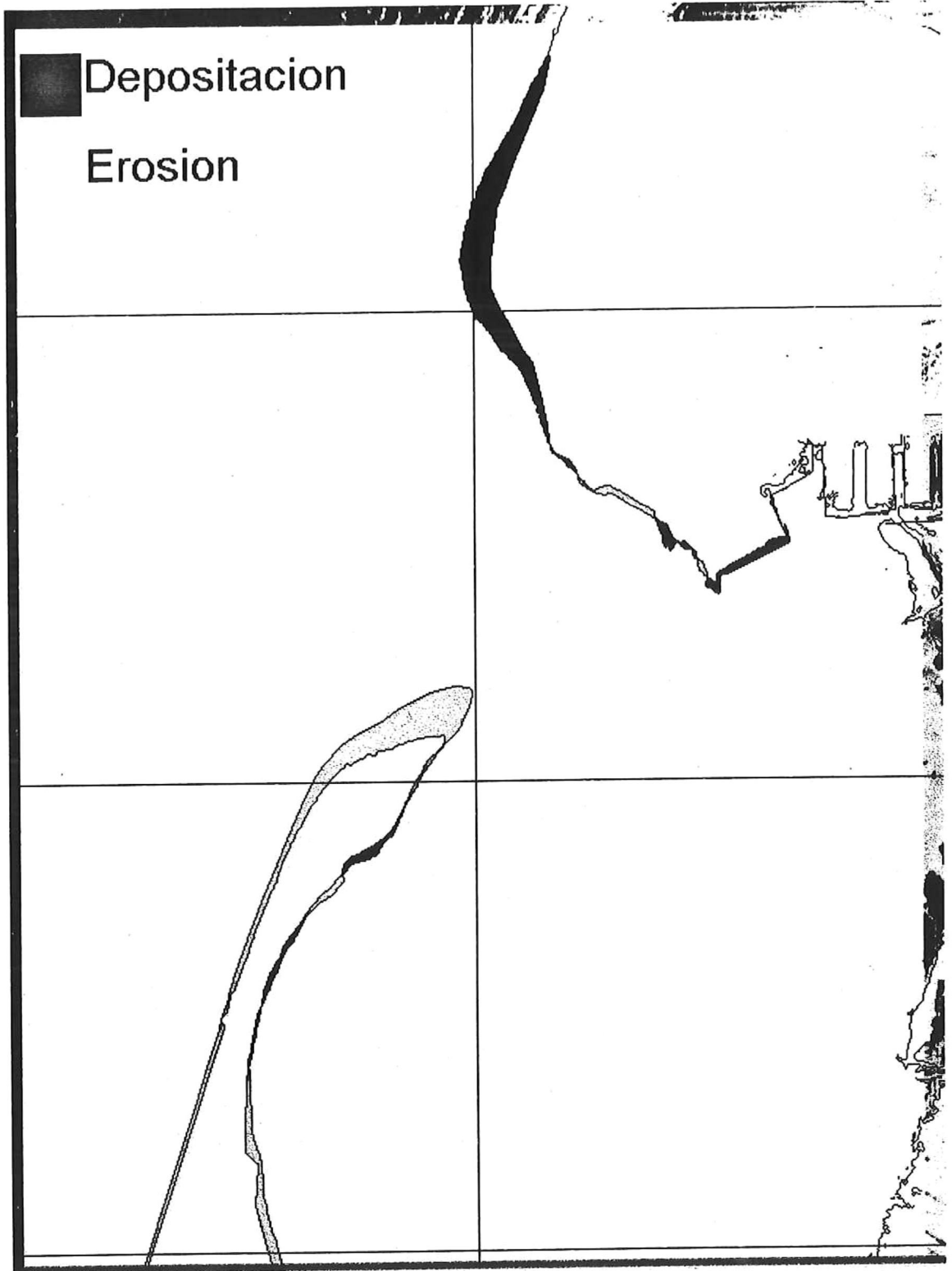


Figura 12.- Cambios en la línea de playa de 1970 a 1972

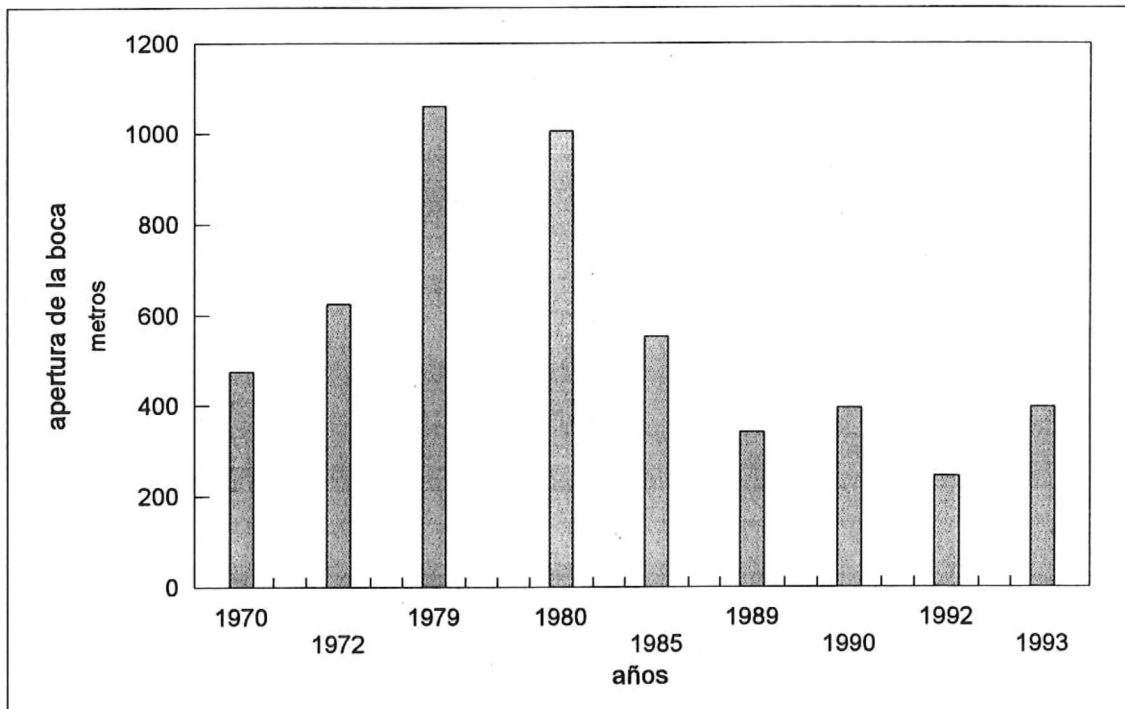


Figura 13.- Apertura de la boca del estero de Punta Banda entre 1970 y 1993. (metros)

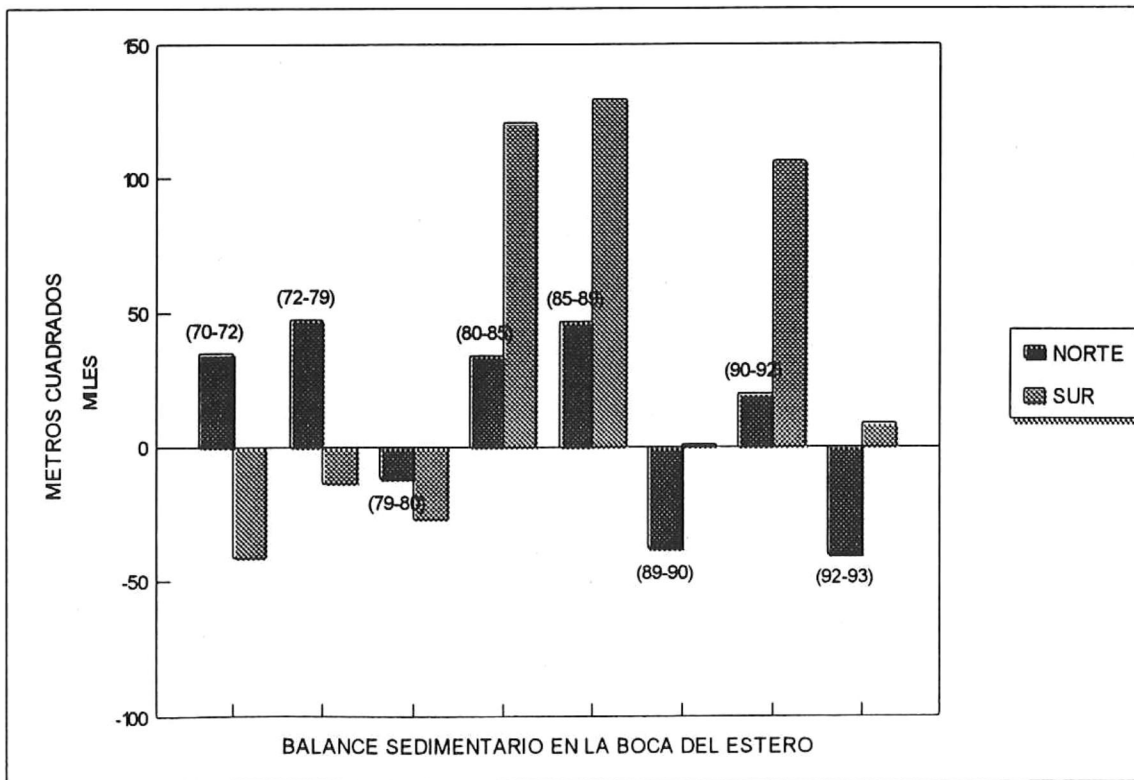


Figura 14.- Areas de deposición-erosión para las playas en la boca del EPB de 1970 a 1993. (en miles de metros cuadrados)

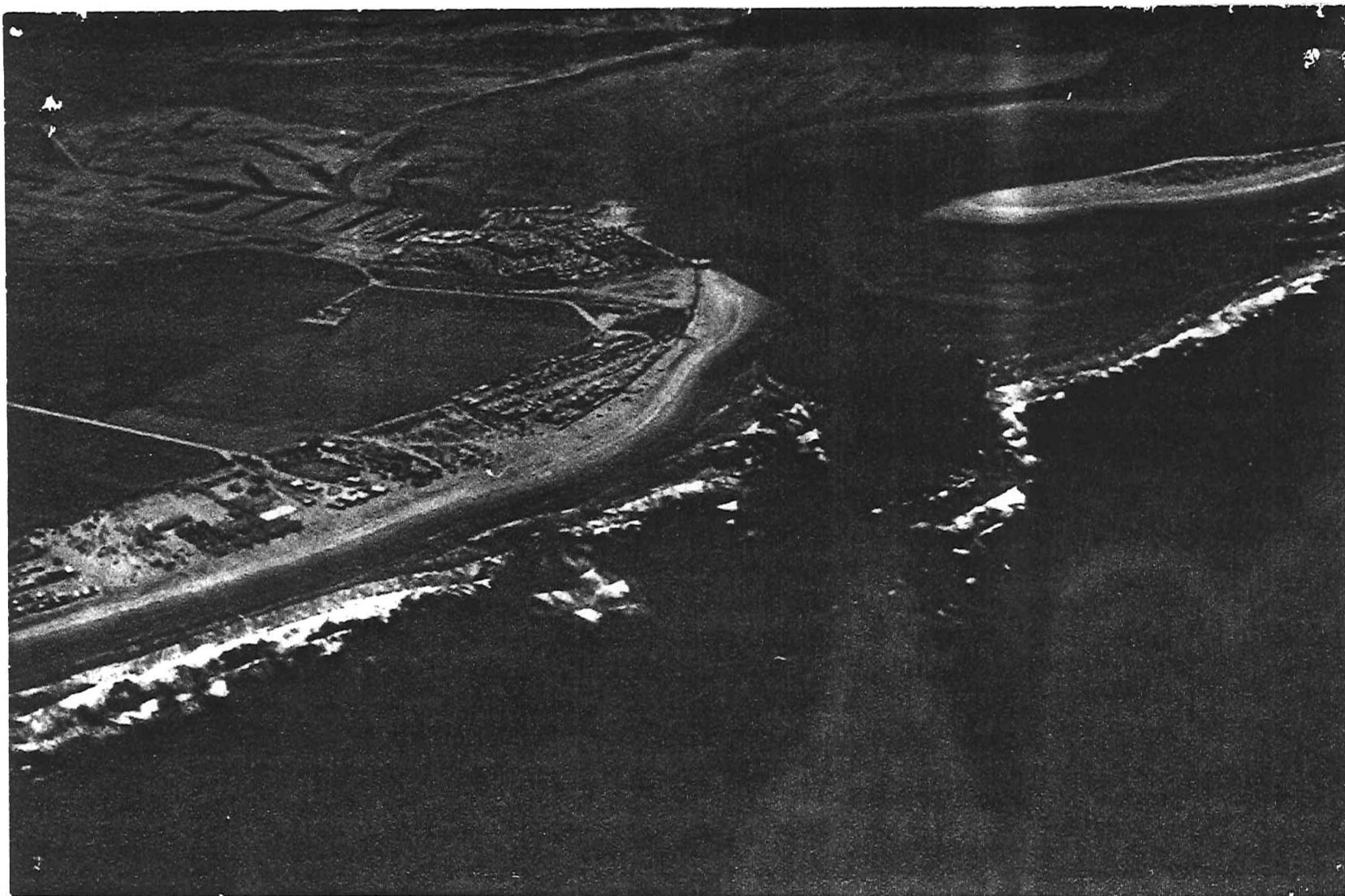


Figura 15.- Fotografía aérea oblicua de la boca del estero de Punta Banda,
Julio de 1977

ampliaciones con respecto a 1970 y 1972.; además se mantienen algunos rasgos morfológicos en la playa al norte de la boca, como el pequeño embahiamiento en el vértice de la misma que se puede observar en las imágenes de 1970 y 1972.

Sin dejar a un lado la consideración de la baja resolución de la imagen de satélite de 1979 es evidente un proceso erosivo que cambia la forma de la punta de la barra. Esta disminuye sus dimensiones y se proyecta hacia la parte interna de la laguna con la consecuente destrucción de la zona de dunas que en ella se encontraban. Como consecuencia del proceso erosivo la amplitud de la boca aumenta de manera importante hasta más de 1000m(fig. 13).

En el margen norte de la boca se observa el inicio de un proceso erosivo en el extremo superior de la playa conocida como El Faro, aún cuando en la parte sur de la misma playa se presenta un proceso depositacional. El proceso erosivo que es evidente en esta playa habría de continuar en los años siguientes.

En la figura 16 se observan cambios considerables en la forma y dimensión de las playas a ambos márgenes de la boca del estero, con relación a los cuales es determinante la presencia de dos series de eventos extraordinarios a mediados de enero y febrero de 1978(fig. 17a). En los cuales se observa la conjunción de condiciones extremas de oleaje precipitación y nivel del mar.

Se registraron valores máximos de oleaje de 4 a 6 metros de altura, cuya capacidad erosiva aumentó con un nivel del mar reportado hasta de 2.0m con respecto al NBMI. Se registraron precipitaciones record en toda la zona durante los mismos días (de 15 hasta más de 25 mm/día en la estación #16).

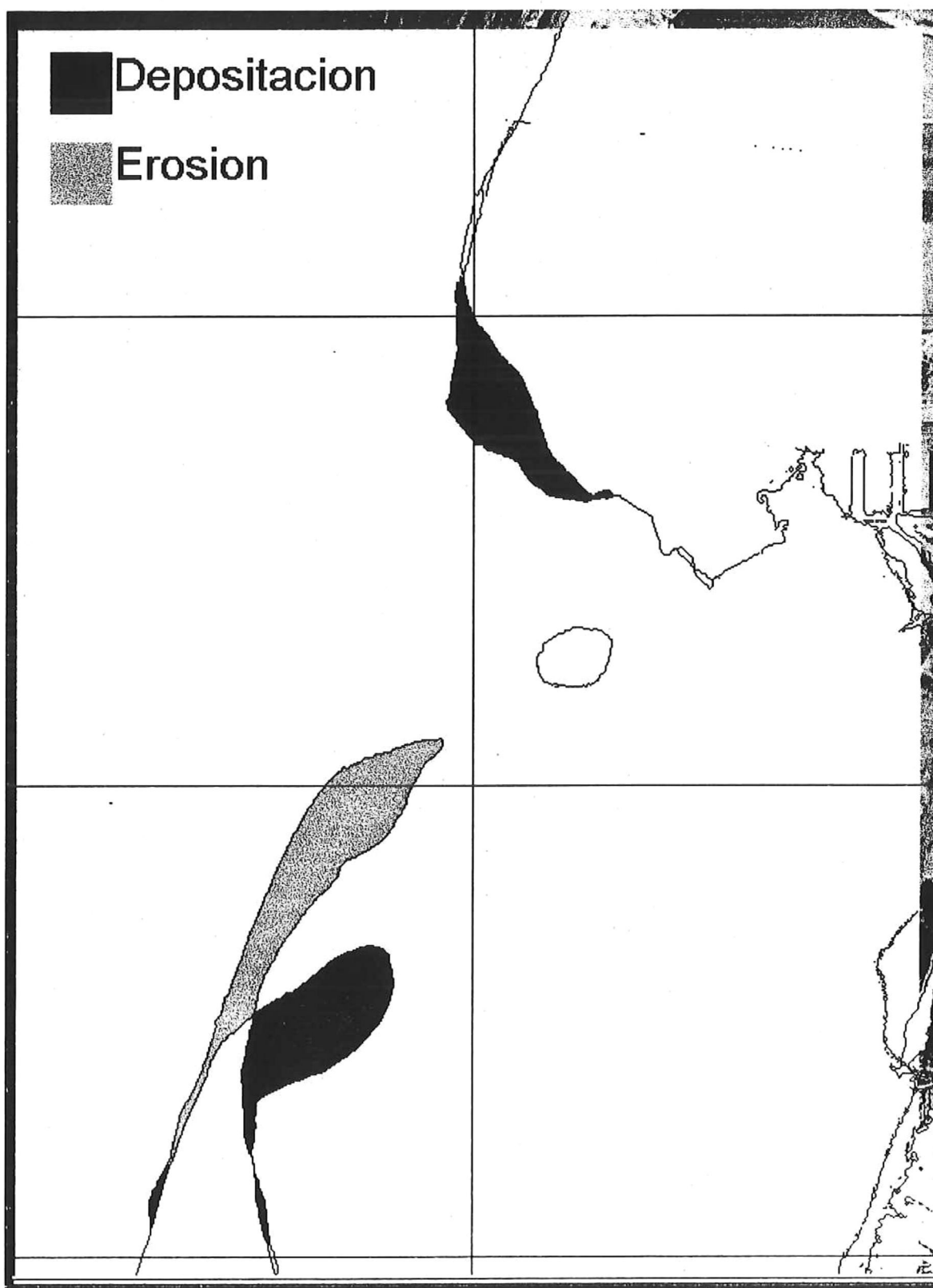
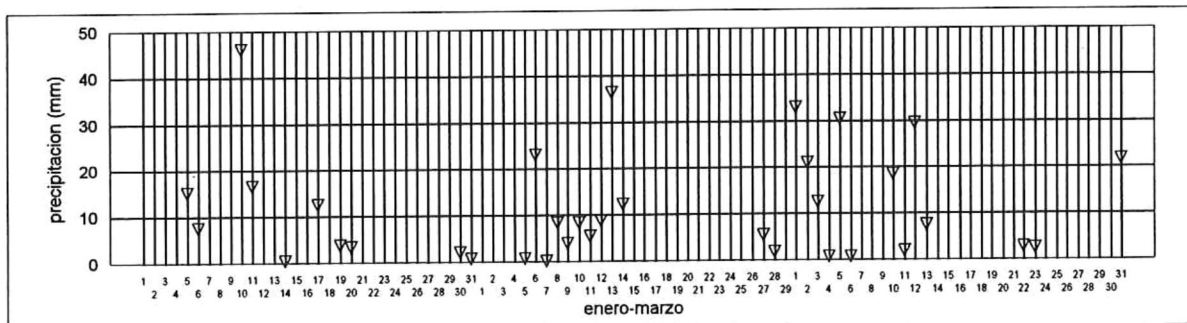
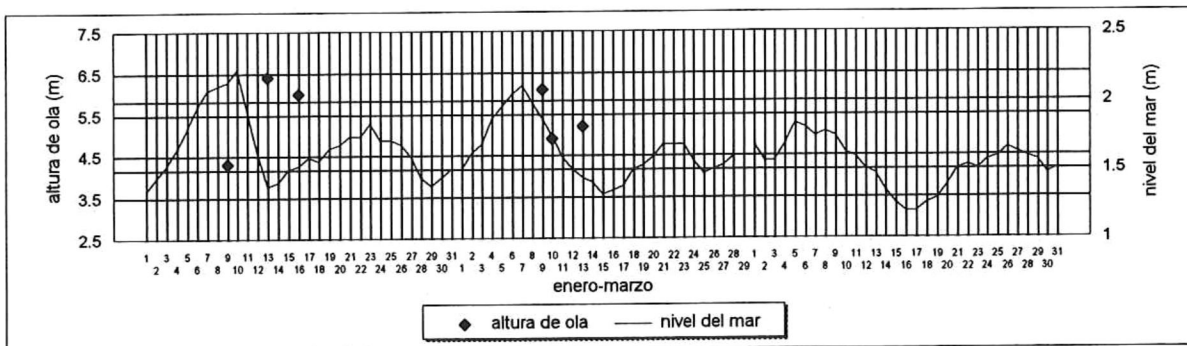
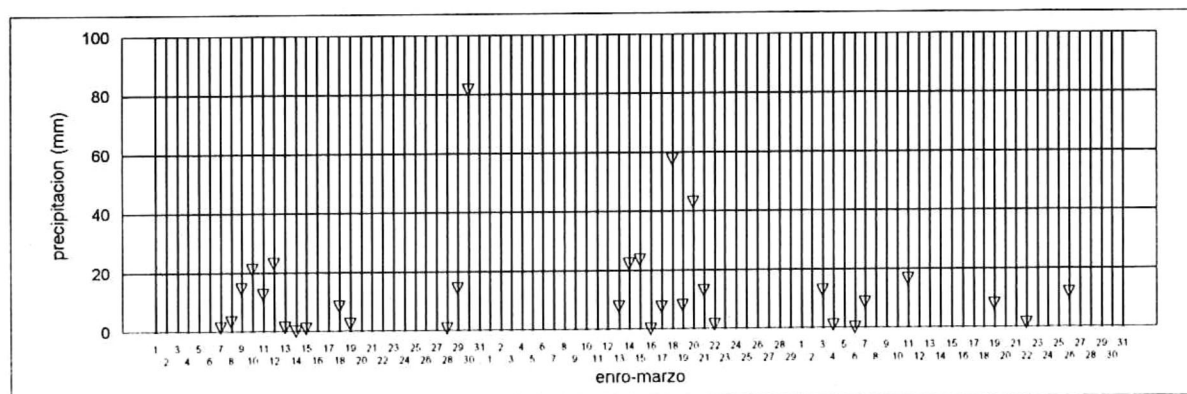
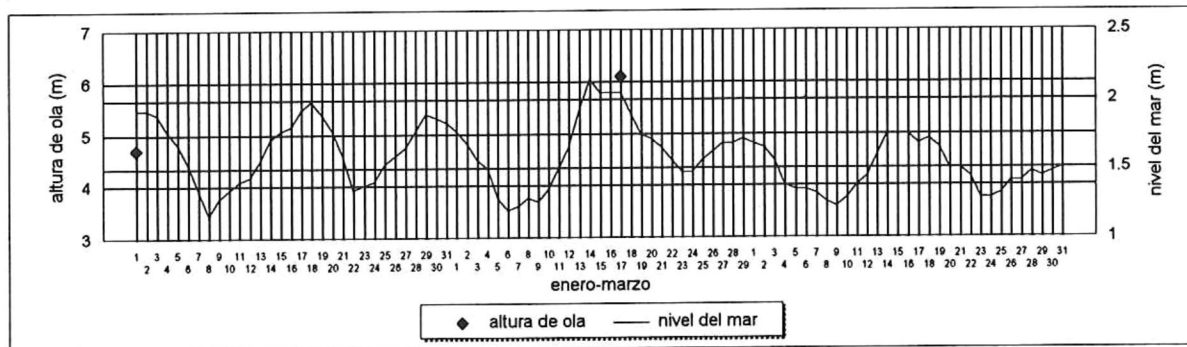


Figura 16.- Cambios en la línea de playa de 1972 a 1979.



a)



b)

Figura 17. Oleaje, nivel del mar y precipitación. a) Enero - Marzo de 1978. b) Enero -Marzo de 1980

Estas precipitaciones resultaron en una fuerte descarga del arroyo San Carlos, según datos aportados por CONAGUA el volumen anual acumulado de escurrimiento del arroyo San Carlos durante 1978 fué el más elevado desde que se iniciaron las mediciones a principios de la década de los 60's(fig. 18). Se considera que el flujo de agua producto de las altas descargas del arroyo San Carlos fué un factor que contribuyó en el proceso erosivo de la punta de la barra ya que este desemboca directamente en la boca del estero. Los datos de precipitación acumulada por inviernos(fig. 19), registran al invierno de 1978 como un invierno inusualmente lluvioso lo que está en relación con las altas descargas del arroyo.

Esta serie de eventos se reportaron en el periódico local como fuertes tormentas invernales que ocasionaron daños diversos en la zona. Se reportaron inundaciones y derrumbes en la costa así como problemas de inundaciones y daños a las embarcaciones dentro de las instalaciones de la rada portuaria.

Las severas tormentas que se presentaron durante el invierno 1977-1978 se originaron como ciclones extratropicales, estos siguieron un curso más hacia el sur que el típico de las tormentas invernales que se producen en el pacífico norte y afectaron de manera directa las playas del sur de California(Dormurat, 1978).

Pritchard, et. al.(1978) menciona este período "inusual" de tormentas que ocasiona un estrechamiento del canal de la boca y un aumento en la profundidad del mismo alcanzando los valores máximos registrados durante su estudio. Sin embargo Ibarra-Obando (1992) menciona el desplazamiento hacia el sur de la boca entre 1978 y 1983, así como el desconocimiento de las causas.

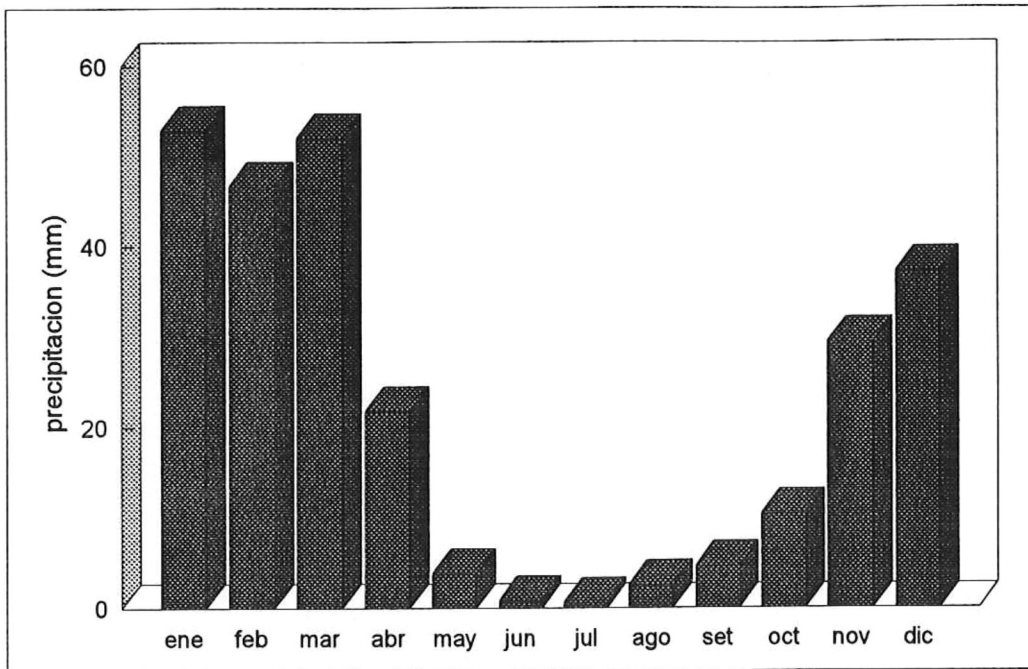


Figura 18. Escurrimiento anual acumulado del Arroyo San Carlos. En miles de metros cúbicos.

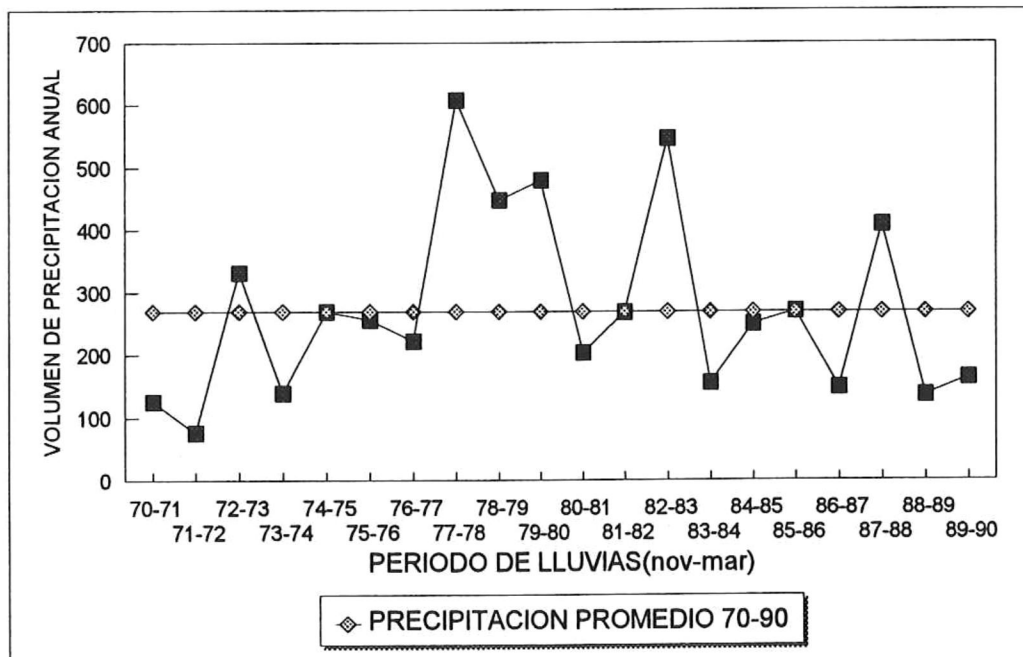


Figura 19. Precipitación acumulada por inviernos(nov-abr) en mm.

1979-1980: Tomando en cuenta las limitaciones de la imagen de satélite, es evidente en la figura 20 que los procesos erosivos continuaron su influencia sobre la punta de la barra.

Al igual que los dos inviernos anteriores el invierno de 1979-1980 presenta altas precipitaciones(fig. 18). Durante este lapso se presenta la conjunción de condiciones extremas con gran capacidad erosiva. Como lo muestra la figura 17b a mediados de marzo de 1980 se registra oleaje extremo de 6m, nivel del mar de 2m con respecto al NBMI y precipitación de 60mm en un día.

Como consecuencia las dimensiones de la punta de la barra continúan disminuyendo, esta cambia su posición desplazándose en dirección al mar. La apertura de la boca se mantiene alrededor de los 1000 metros(fig. 13).

El proceso erosivo observado en la parte norte de la playa El Faro en 1979 se extiende hacia su parte sur que experimenta un leve retroceso en la línea de playa.

1980-1985: Este período marca un cambio en la predominancia de los procesos erosivos que se presentaron entre 1978 y 1980, al dominio de los procesos depositacionales. El intervalo de tiempo entre las dos fotografías no permite definir con exactitud el inicio de1 dominio de los procesos depositacionales. Sin embargo durante el invierno de 1983 se repite la presencia simultánea de condiciones extremas similares a las condiciones que se registraron durante los inviernos de 1977-1978 y 1979-1980 con consecuencias erosivas sobre la punta de la barra.

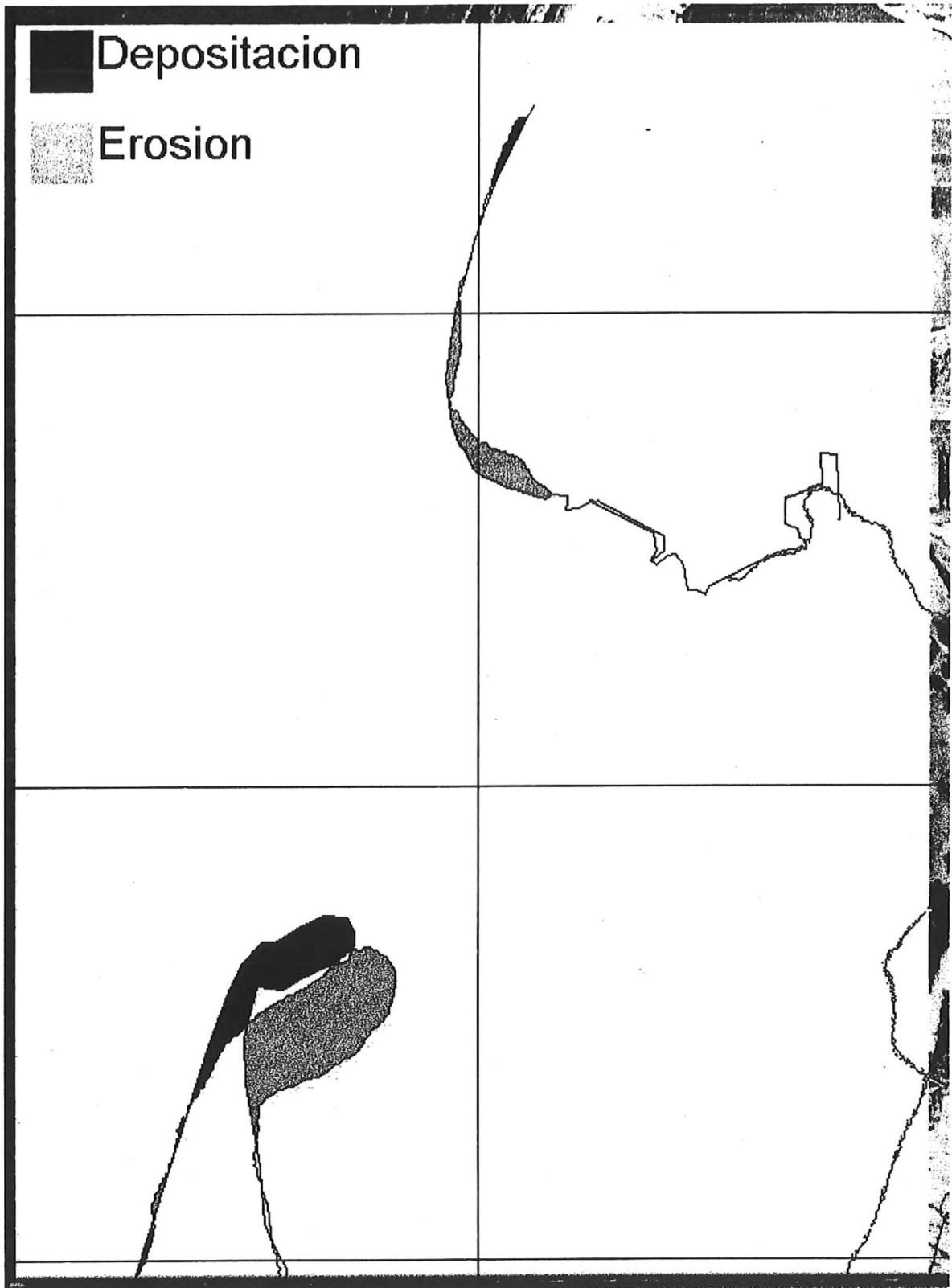


Figura 20.- Cambios en la línea de playa de 1979 a 1980.

El invierno de 1983 fué un invierno inusualmente lluvioso (fig. 18), en el que se registraron dos series de eventos extremos. A finales de enero se registraron condiciones en oleaje hasta de 6m y altos niveles del mar(2 m sobre el NBMI) con precipitaciones arriba de los 15mm al día. A principios de marzo del mismo invierno se registró oleaje mayor de 4m, nivel del mar de 1.7 con respecto al NBMI y precipitaciones hasta de 40mm al día(fig. 21).

Seymour et. al.(1984) relaciona los eventos extremos en las condiciones de oleaje observados a principios de la década de los 80(tabla 1) con la presencia del efecto del niño, sin embargo las condiciones extremas en los inviernos de 1978 y 1980 son anteriores a este período.

La figura 22 revela que para 1985 ambos márgenes de la boca experimentan una importante depositación con respecto a 1980 con un desplazamiento de la boca hacia el sur unos 500m, con respecto a su posición original. Como consecuencia de los procesos depositacionales la amplitud de la boca se reduce a alrededor de 500m(fig. 13), y aún cuando no vuelve a su posición original recupera la amplitud que presentaba previa a los procesos erosionales en la punta de la barra.

El área de la punta de la barra se amplía, esta se proyecta hacia el interior de la laguna, experimentando una depositación tanto en su lado externo como en el interno.

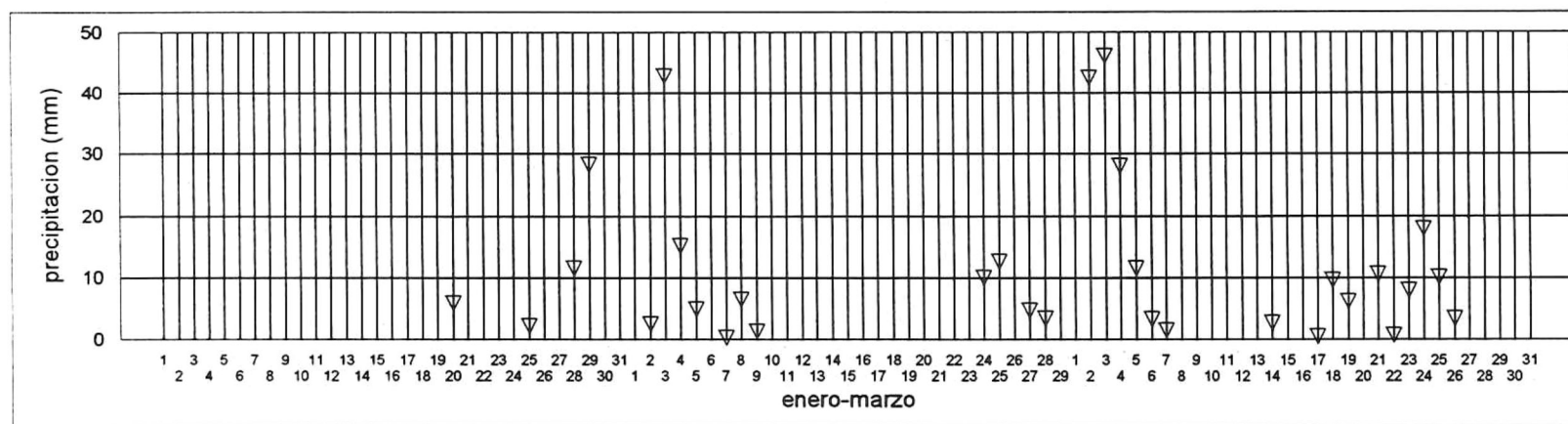
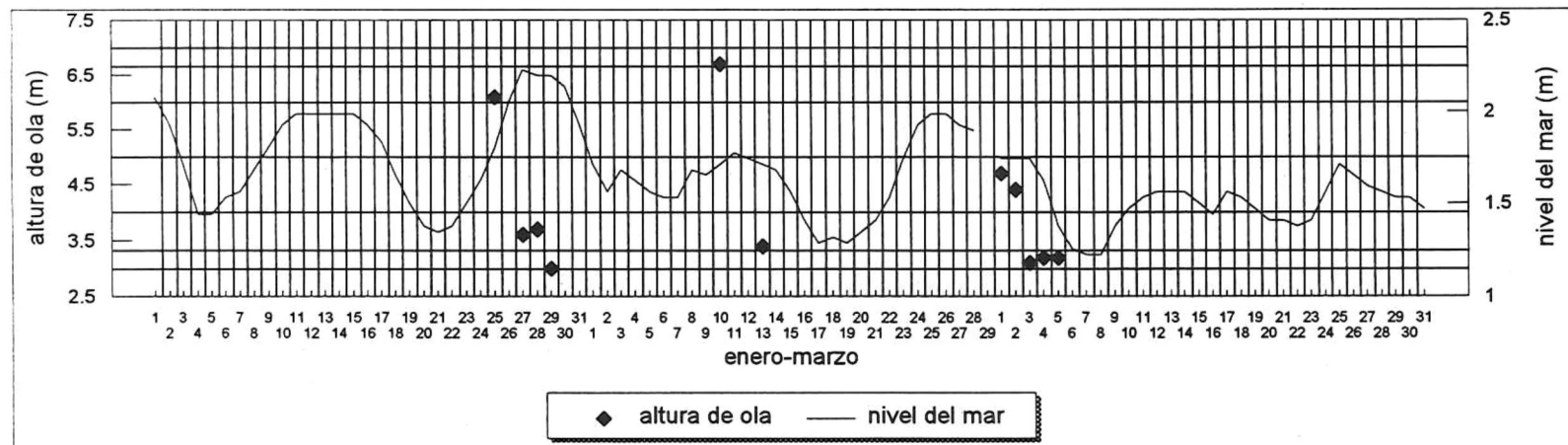


Figura 21. Oleaje, nivel del mar y precipitación Enero- Marzo de 1983

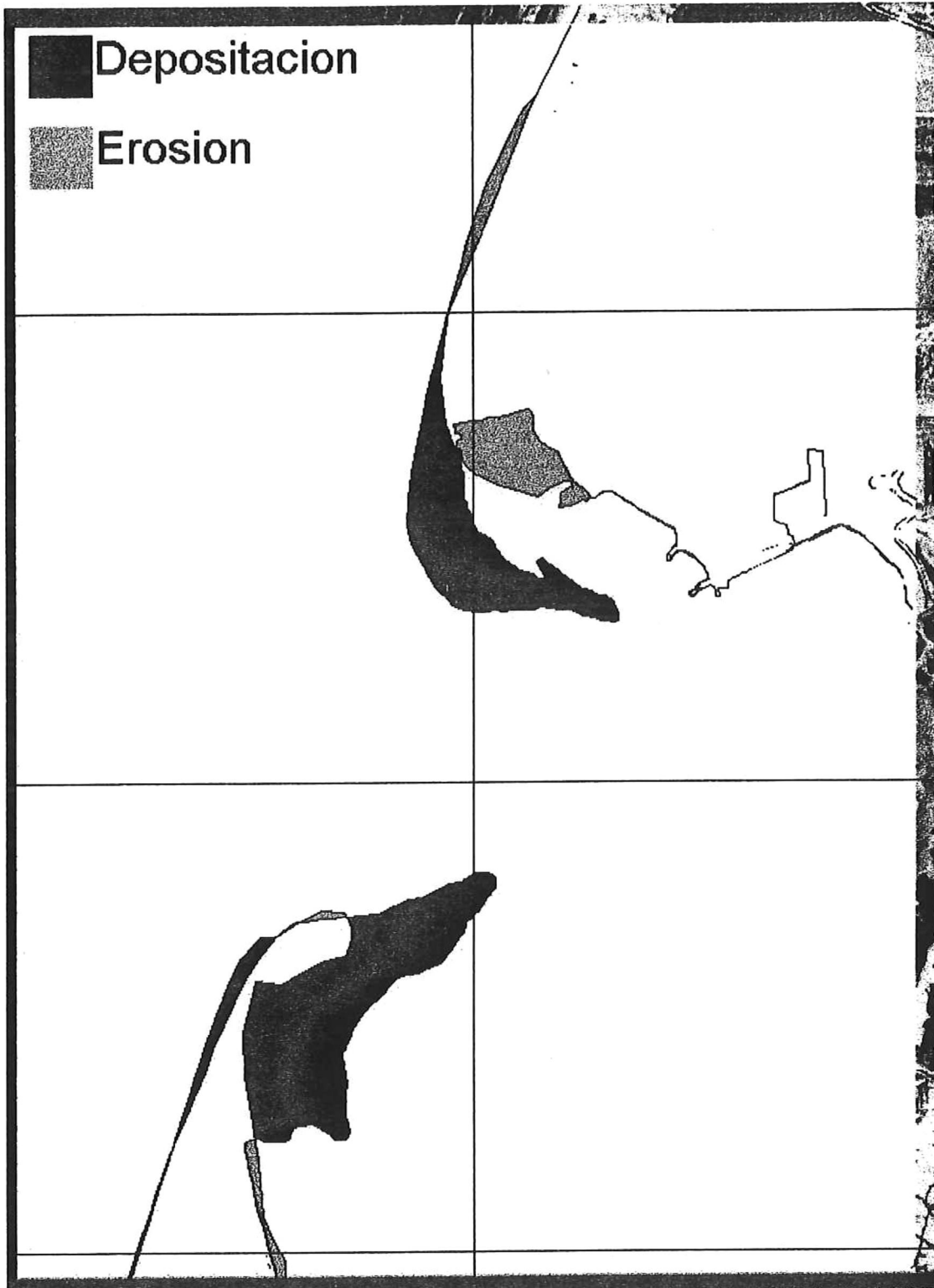


Figura 22.- Cambios en la línea de playa de 1980 a 1985.

En el margen norte de la boca se forma una lengüeta que se ubica hacia el interior de la laguna evidenciando el importante transporte e intercambio de sedimentos producto de la interacción entre el transporte litoral de sedimentos y las corrientes de llenado y vaciado del estero.

Con respecto a los procesos depositacionales evidentes para 1985 es importante considerar como posibles fuentes aportadoras de sedimento para la zona la continuación del proceso erosivo en la playa El Faro y la carga de sedimentos que el arroyo San Carlos pudo haber acarreado por sus altos volúmenes de descarga entre 1978 y 1983 (fig. 18), relacionados con inviernos lluviosos en el mismo período (fig. 19).

1985-1989: Para el lapso comprendido entre estas dos imágenes se observa el continuo dominio de los procesos depositacionales (fig. 23). Aún cuando la erosión de la playa El Faro continúa, las playas en ambos márgenes de la boca experimentan un crecimiento lo que provoca una importante reducción de la amplitud de la boca (fig. 13).

La lengüeta formada en el margen norte de la boca aumenta su longitud proyectándose hacia el interior de la laguna. La punta de la barra aumenta su área extendiéndose hacia el norte; mientras en su parte sur presenta erosión.

La depositación, que continúa durante este período, se favorece ya que el transporte litoral en las zonas de erosión al norte y al sur de la boca convergen en esta. A este respecto se desconoce la influencia de la reducción del área de marismas por los trabajos de la Boss-Pacific en 1983 con la consecuente reducción

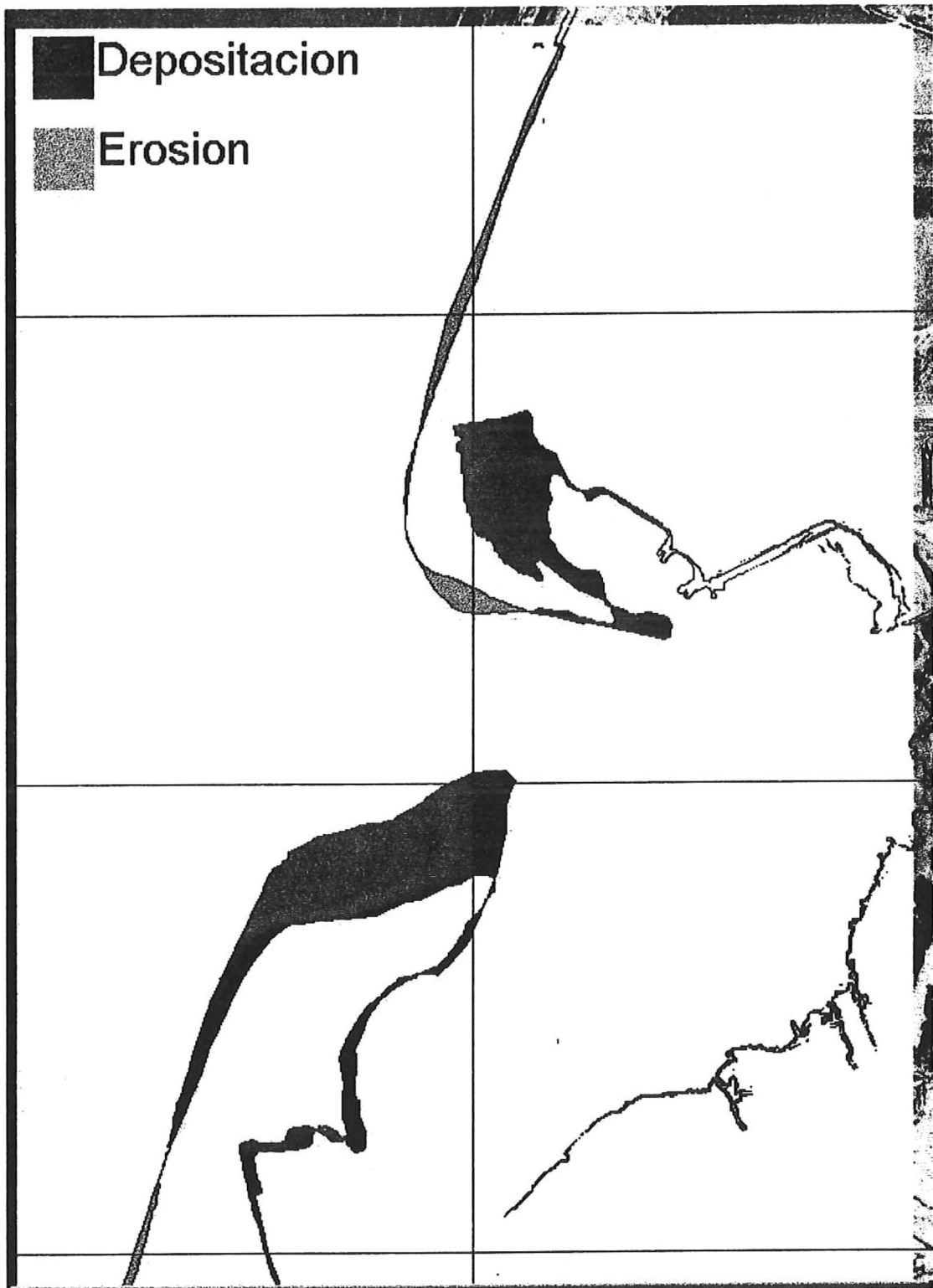


Figura 23.- Cambios en la línea de playa de 1985 a 1989.

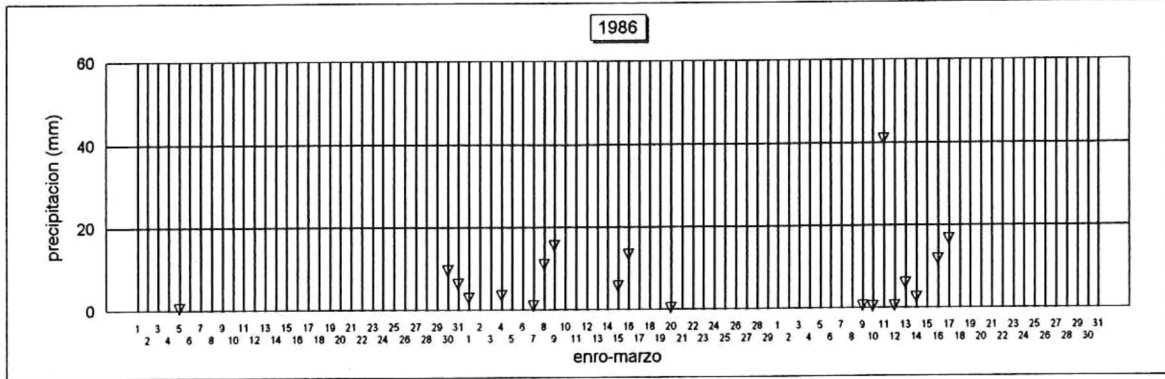
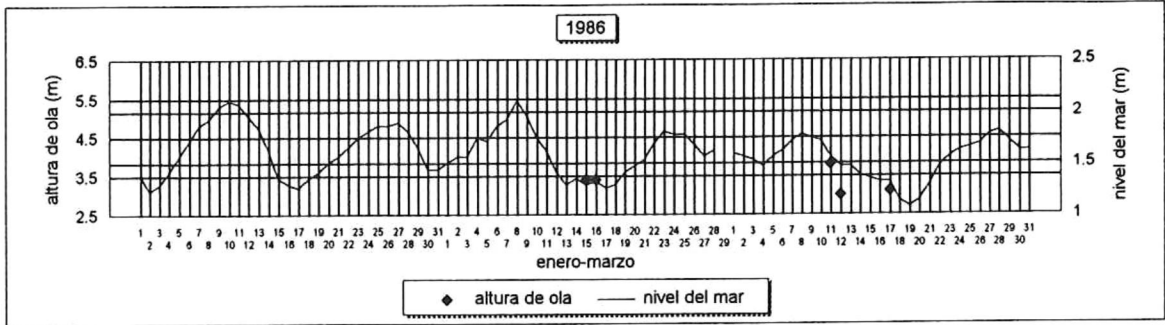
del prisma de mareas (Nishikawa, 1983), que bien pueden afectar la capacidad de autodragado del canal de la boca alentando la depositación de sedimentos en ambos márgenes de la misma.

Si bien durante este período se presentan dos eventos extremos de oleaje, la precipitación y la posición del mar no registran valores extremos de manera simultánea disminuyendo la intensidad de los mismos (fig. 24). Si estos fenómenos tuvieron un efecto erosivo sobre el área no parecen haber alterado la continuación del dominio de los procesos depositacionales.

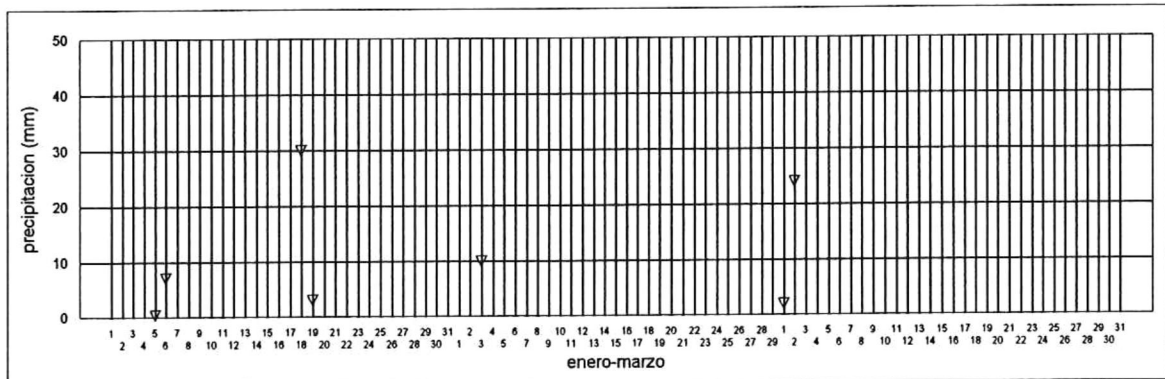
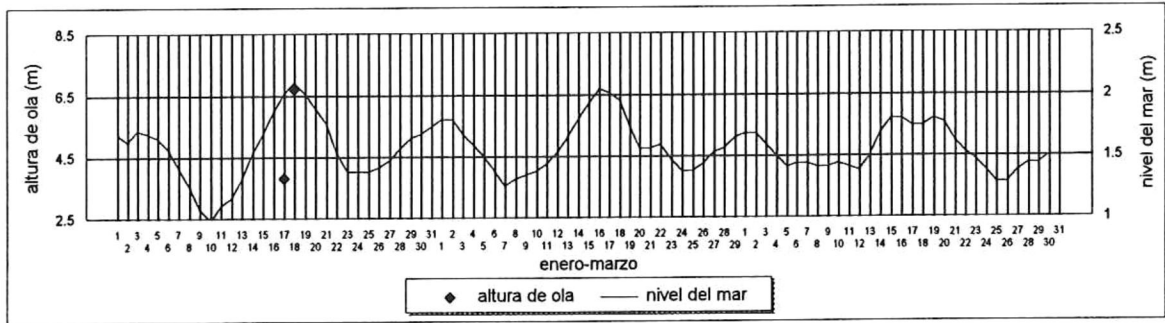
1989-1990: En este período barra (fig. 25) es notable que el proceso erosivo que se presentó en la playa El Faro desde 1979 se extiende hacia el sur, llegando a afectar hasta el margen norte de la boca.

La lengüeta formada al norte de la boca disminuye su longitud pero se ensancha, siendo evidente una redistribución del sedimento. La punta de la barra experimenta, de la misma manera, una ligera redistribución de los sedimentos erosionándose el extremo de la misma.

Como consecuencia la boca presenta una ligera ampliación en su apertura con respecto a 1989 (fig. 13). Durante este período no se registra de manera simultánea la presencia de eventos extremos de oleaje, nivel del mar y precipitación, sin embargo el dominio de los procesos depositacionales evidente a partir de 1985 parece haberse detenido.



a)



b)

Figura 24. Oleaje, nivel del mar y precipitación. a) Enero - Marzo de 1986. b) Enero - Marzo de 1988

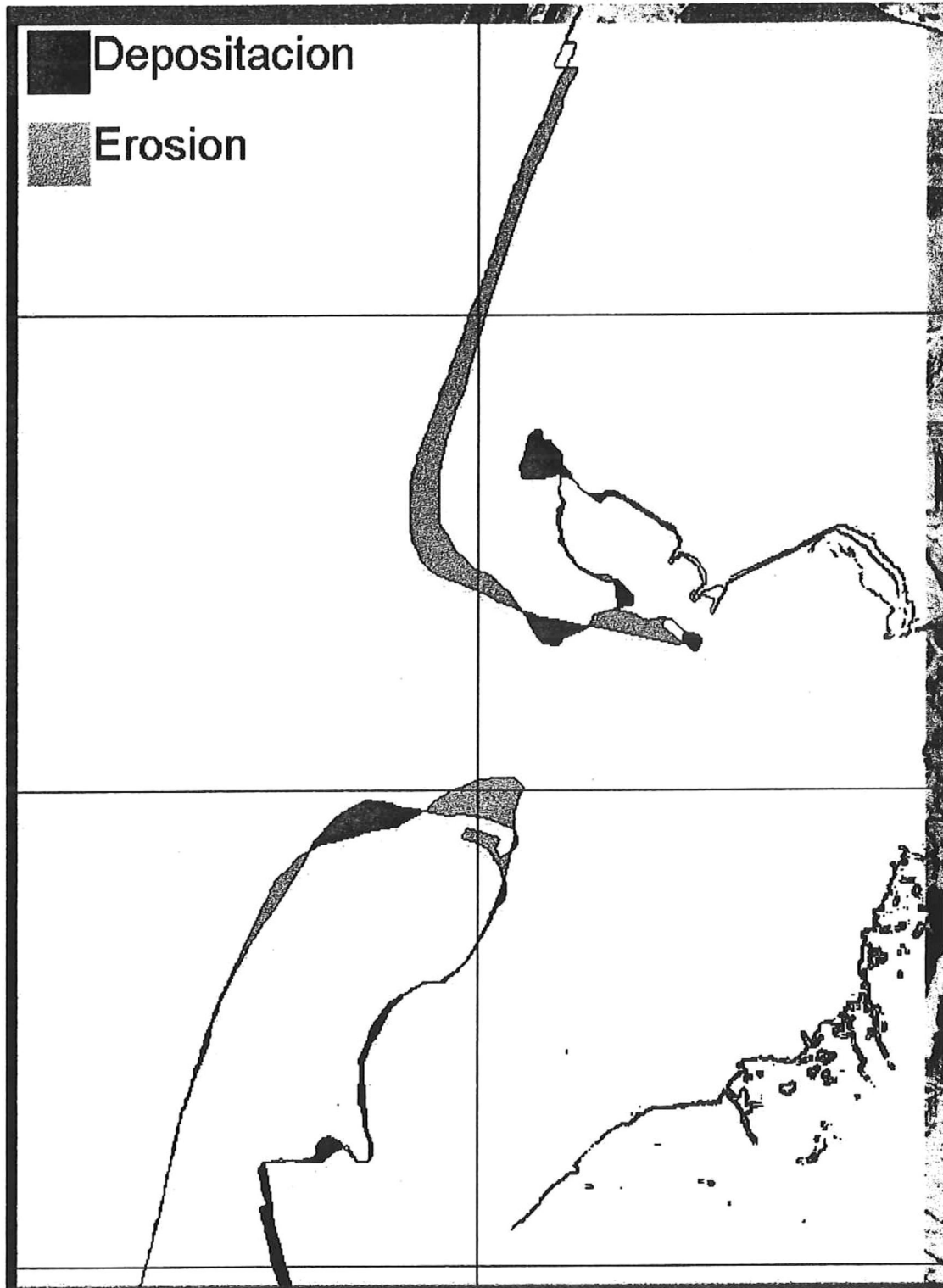


Figura 25.- Cambios en la línea de playa de 1989 a 1990.

1990-1992: Se puede apreciar de la figura 26 que la punta de la barra se extiende hacia el norte, su playa externa presenta una ampliación. La lengüeta en el margen norte de la boca crece y se proyecta hacia el interior de la laguna. Los procesos depositacionales vuelven a dominar y como consecuencia la boca presenta sus dimensiones más pequeñas a lo largo del período que este estudio abarca (fig. 13).

1992-1993: En este lapso (fig. 27) se observa la continuación del proceso erosivo que la playa El Faro había empezado a experimentar a partir de 1979 y que se continuó progresivamente hasta 1993.

La boca alcanza alrededor de 400m de apertura al erosionarse las playas en ambos márgenes de la misma. Sin embargo desde 1989 la amplitud de la boca es menor con respecto a 1972, y la boca presenta un desplazamiento hacia el sur con respecto al mismo año.

La lengüeta en el margen norte de la boca disminuye su anchura pero se prolonga al interior de la laguna. El extremo de la punta de la barra se erosiona mientras la playa externa presenta un crecimiento.

Es probable que los cambios observados durante este período sean de nuevo cambios estacionales lo que podría indicar que la boca ha alcanzado un nuevo punto de equilibrio. De nuevo se presenta erosión en la playa El Faro.

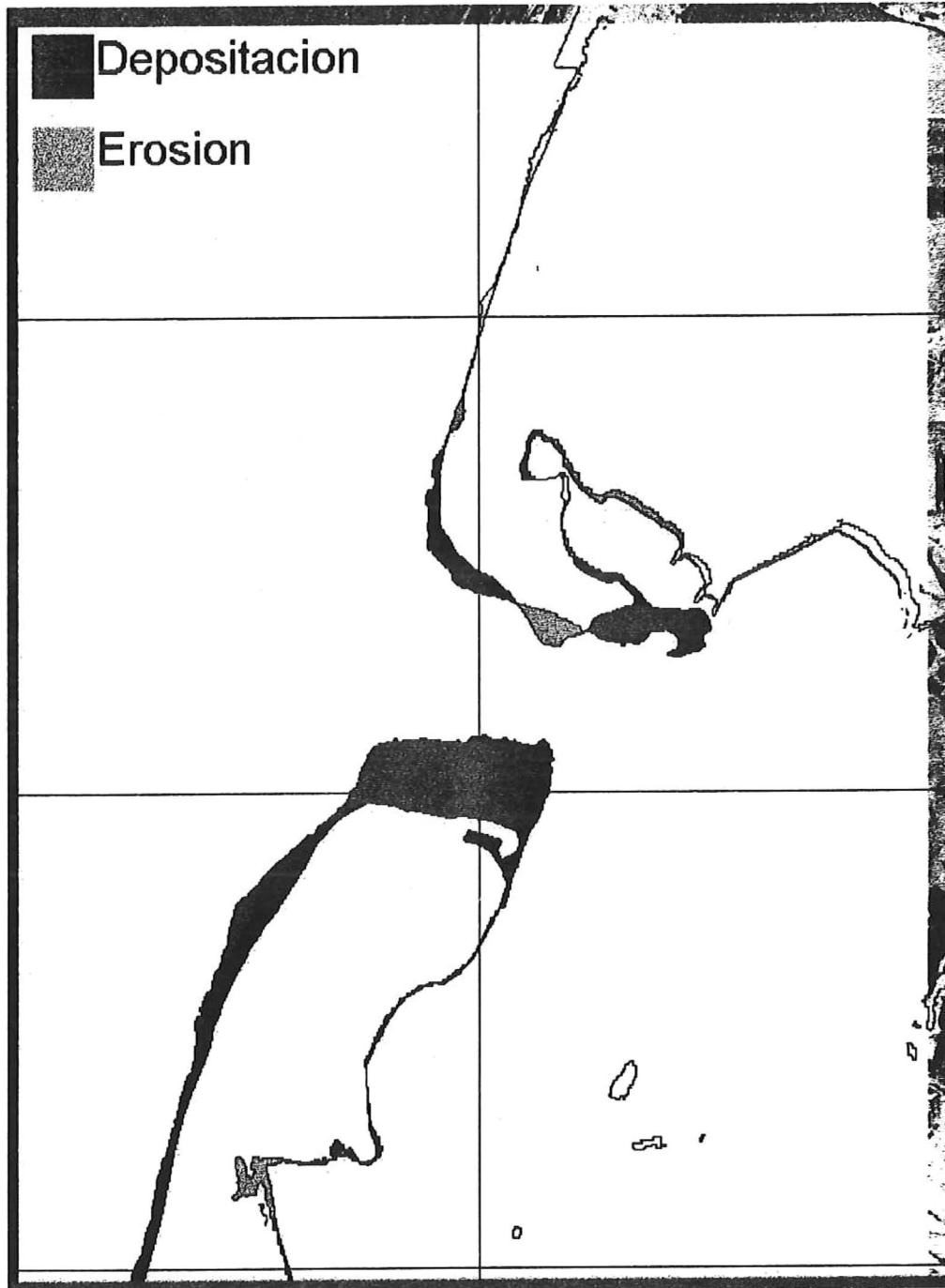


Figura 26.- Cambios en la línea de playa de 1990 a 1992.

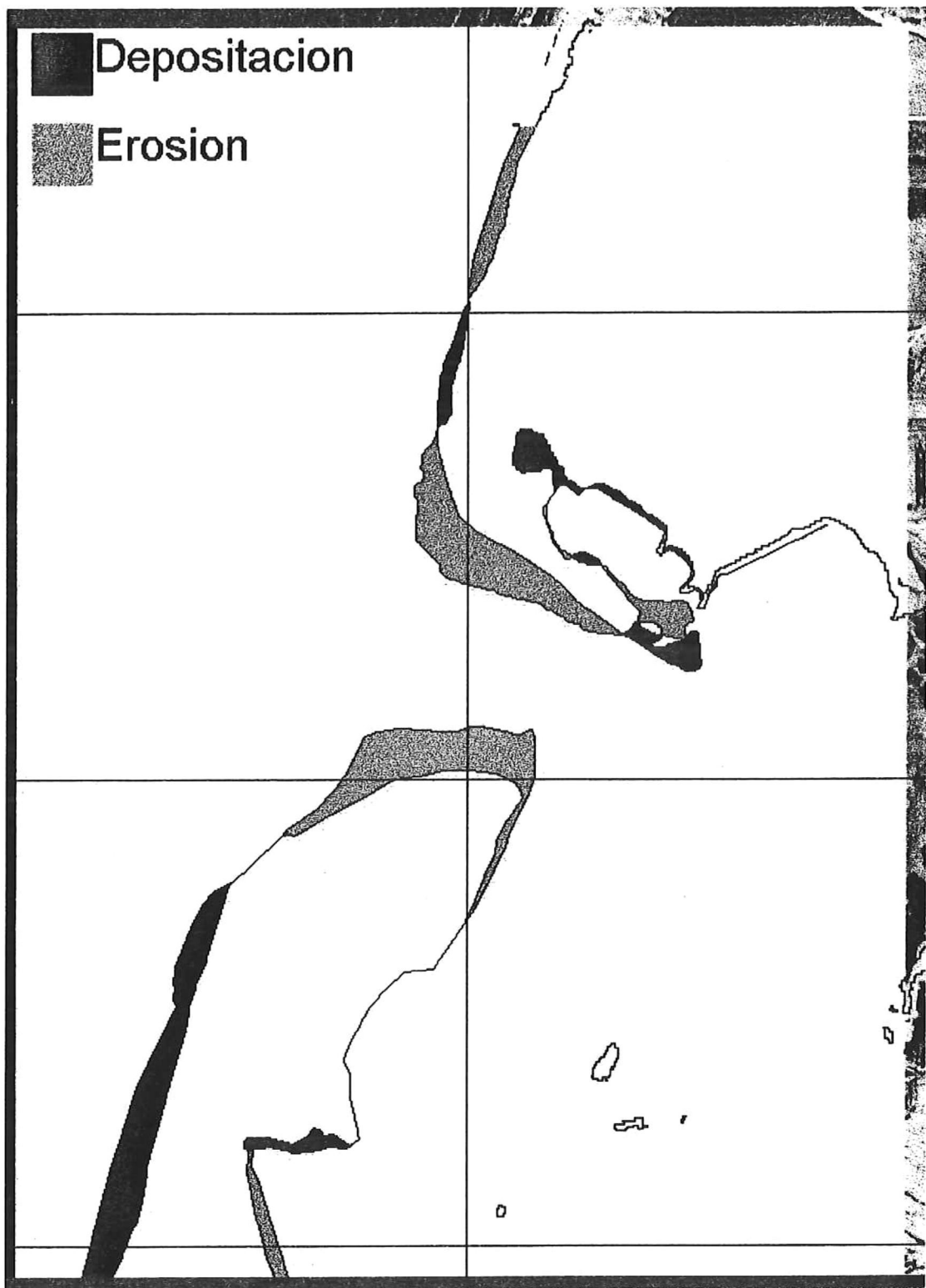


Figura 27.- Cambios en la línea de costa de 1992 a 1993.

6. CONCLUSION

Se concluye que los cambios en la línea de playa en la boca del EPB, durante el tiempo que abarca este estudio, se pueden dividir en tres fases. La primera de una estabilidad dinámica sin cambios significativos en la línea de costa, la segunda de marcados cambios erosivos y la última de una tendencia a la recuperación de la estabilidad con el dominio de los procesos depositacionales.

Desde 1970 y por lo menos hasta la fotografía de referencia de 1977 no se presentan cambios significativos en la línea de playa, los cambios observados en este período se deben a cambios estacionales de perfiles erosivos en invierno y constructivos en verano. Este lapso quizá se pueda extender hasta principios de 1978 cuando se presentó el primer evento, sin precedentes, con una importante conjunción de condiciones extremas de manera simultánea tanto en precipitación como en nivel del mar y oleaje.

La evidencia gráfica marca el inicio de una etapa de cambios sinificativamente erosivos a partir de 1979, sin embargo no se debe ignorar el análisis de los procesos costeros imperantes en la zona. Esto indican que es a partir de las tormentas del invierno de 1978 y hasta el invierno de 1983, cuando se presentan eventos inusuales en los que se conjugan valores extremos de precipitación oleaje y nivel del mar. Además los inviernos altamente lluviosos de 77-78, 78-79, 79-80 y 82-83 provocaron fuertes descargas del arroyo San Carlos el cual desemboca directamente frente a la boca del estero. La presencia

simultánea de estos factores tuvo consecuencias erosivas no experimentadas en la zona previa ni posteriormente.

Desde la gráfica de 1985 y hasta 1992 es evidente el proceso de recuperación de la zona. Sin embargo la posición de la boca se desplaza hacia el sur y disminuye su amplitud sin recuperar sus condiciones originales. Aún cuando no se puede marcar de manera definitiva el inicio de este período donde domina la depositación, se marca de manera tentativa el invierno de 1983 donde se presenta la última conjunción importante de valores extremos de precipitación, oleaje y posición del nivel del mar.

Entre 1992 y 1993 parece haberse detenido el dominio de los procesos depositacionales y aparentemente la zona presenta de nuevo cambios dentro de un equilibrio dinámico.

Los cambios descritos en el presente trabajo evidencian la interacción dinámica de la boca del estero con los procesos costeros. Sin embargo esta dinámica no se ha estudiado sistemáticamente y desconocemos el estado actual de la boca. Considerando que la boca no volvió a su posición original y que la amplitud de la misma ha disminuido, se considera necesario un estudio de las condiciones generales y de estabilidad de la boca, ya que de esta depende la permanencia del estero de Punta Banda y este a su vez sustenta importantes intereses tanto ecológicos como económicos

7.REFERENCIAS

- Acosta-Ruíz,M.N. y Alvarez-Borrego,S.(1974). Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos, físico-químicos, en el Estero de Punta Banda, Baja California, en otoño e invierno. Ciencias Marinas, Vol.1(1):16-45.**
- Ahumada-Sempoal,M.A.(1993). Corrientes litorales inducidas por oleaje en la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C. Ensenada, B.C.**
- Anders,F.J. and M.R.Byrnes.(1991). Accuracy of shoreline change rates as determined from maps and aerial photographs. Shore and Beach v.59(1):17-26**
- Baca-Chacón,C.(1981). Procedencia de los minerales pesados en la Bahía de Todos Santos, Baja California. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. Ensenada, B.C.**
- Bennett, J.(1990). Vocación de uso turístico de la planicie costera del estero de Punta Banda, Baja California. Tesina de especialidad en Administración de Recursos Marinos. Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C. Ensenada, B.C.**
- Celis-Ceseña,R. y Alvarez-Borrego,S.(1975) Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos , físico-químicos, en el estero de Punta Banda, Baja California, en primavera y verano. Ciencias Marinas, Vol.2(1):98-105.**
- C.I.C.E.S.E.(1988) Estadísticas de nivel del mar.**
- Comité de planeación para el desarrollo municipal.(1993). Plan Municipal de desarrollo 1993-1995 Ensenada, B.C. XIII Ayuntamiento.**
- CONAGUA.(1993). Estadísticas de precipitación para la estación 16 Ensenada, B.C.**
- Cross, R.H.(1980). Ocean wave statistics for San Francisco. Shore and Beach v.48(3):26-29.**
- Cruz-Blancas,E.(1985). Origen de la laguna costera de Punta Banda. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C. Ensenada, B.C.**
- de la Paz-Vela,R.(1978). Hidrodinámica y dispersión de contaminantes en el estero de Punta Banda, Baja California. Tesis de licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas, U.A.B.C.**

- Dormurat, G.W.(1978) Selected coastal storm damage in California, winter of 1977-78. Shore and Beach v.46(3):15-20.**
- González-Calvillo,A.(1980). Estabilidad y habilidad natural de autodragado de la boca del Estero de Punta Banda. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C. Ensenada, B.C.**
- González-Yajimovich,O. y A.Escofet(1991). Ecological and geomorphic impact on the destruction of a coastal sand dune system in a sand spit. Proc. 7th. Symp. on coastal and Ocean Management. Long. Beach. July 8-12. p.2877-2882.**
- Habel, J.S.(1977). Ocean wave statistics for the California coast. Shore and Beach v.45(3):3-9.**
- Ibarra-Obando,S.(1990). Lagunas costeras de Baja California. Ciencia y Desarrollo v.16(92):39-49.**
- Ibarra-Obando,S. y Escoffet,A.(1987). Industrial development effects on the ecology of a pacific mexican estuary. Enviromental Conservation, Vol.14(2):135-141.**
- Jimenez-Pérez,M.(1988). Determinación del transporte litoral por medio de trazadores fluorescentes en la parte externa de la barra del estero de Punta Banda. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C.**
- Komar, P.D.(1978). Wave conditions on the Oregon Coast durin the winter of 1977-78 and the resulting erosion of Nestucca spit. Shore and Beach v.46(4).**
- Martínez-Díaz de León,A. y Nava-Button,C.(1987-1988). Estadística del oleaje en las costas de Baja California. Reportes mensuales 87/02 - 88/04. I.I.O., U.A.B.C.**
- Méndez-Arriaga,M.(1982). Determinación del transporte litoral predominante en la Bahía de Todos Santos, Baja California. Tesis de licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas, U.A.B.C.**
- Nishikawa,K.(1983). Consideraciones sobre el posible impacto ambiental de las instalaciones de la fábrica de jackets petroleros Bos Pacific en el estero de Punta Banda. Informe preliminar sobre el posible impacto ecológico que la empresa Bos Pacific, S.A. de C.V. ocasionará al instalarse en el Estero de Punta Banda, Baja California. División de Oceanología, CICESE. p 10-20.**

- O'Brien, M. y Zeevaert, L. (1968). Design of a small tidal inlet. Proceedings of the 11th. Conference on Coastal Engineering. p 1242-1257.
- Pérez, H.R. y Chee, A. (1984). Transporte de sedimentos en la Bahía de Todos Santos, Baja California. Ciencias Marinas , Vol.10(3):31-52.
- Pritchard, D.W; R. de la Paz-Vela; H. Cabrera-Muro; S. Farreras-Sanz y E. Morales. (1978). Hidrografía física del estero de Punta Banda. Parte I: Análisis de datos. Ciencias Marinas. Vol5(2):1-23.
- Seymour, R.J., Strange, R.R., Cayan, D.R., Nathan, R.A. (1984). Influence of el niños on California's wave climate. Proceedings of the 19th Coastal engineering conference. Edge, Billy L. (ed.) 577-592.
- Torres-Navarrete, C.R. (1991). Transporte litoral en una zona de la Bahía de Todos Santos, B.C., México durante Abril, Agosto y Octubre de 1985. Ciencias Marinas, vol.17(3):59-71.
- Torres-Navarrete, C.R. y Martínez-Díaz, A. (1993). Longshore sand transport southeast of Bahía de Todos Santos, B.C. México. Jour. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering. vol.119 (ww5):580-585.
- U.S. Army Corps of Engineers (1988). Historic wave and sea level report San Diego region. Coast of California Storm and Tidal Wave Study.
- Wiegel, R.L. (1993). Dana Point Harbor, California. Shore and Beach, vol.61(3):37-55.