



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS MARINAS



VOLUMEN DE SEDIMENTO APORTADO ANUALMENTE A
LA BAHIA DE TODOS SANTOS, BAJA CALIFORNIA,
POR LOS ARROYOS : EL CARMEN, ENSENADA,
EL GALLO, SAN CARLOS Y LAS ANIMAS.

1972 - 1983

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

OCEANOLOGO

PRESENTA

GUILLERMO ELIEZER AVILA SERRANO

DEDICADA

A MI AMIGO:

J e s ú s

A MIS PADRES:

Guillermo Avila Sánchez
Flora Serrano de Avila

A MI ESPOSA:

Martha Némer de Avila

AGRADECIMIENTOS:

A todas las personas que en forma desinteresada me han apoyado y ayudado a concluir este trabajo. No los nombro para que no haya -- imperdonables omisiones por lo cual en éstas - páginas va mi más sincero reconocimiento.

Especialmente a mi amigo y Director de Té sis: Oc. Lorenzo Gómez-Morín Fuentes, quien - me dió la idea y me concedió mucho de su tiempo, así como sus valiosos conocimientos.

I N D I C E

	PAG.
I.- INTRODUCCION	1
II.- ANTECEDENTES	7
II.1.- Generales	7
II.2.- Particulares.	9
III.- OBJETIVO	12
IV.- DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.	12
V.- MATERIALES Y METODOS	13
a) Materiales.	14
b) Métodos	14
VI.- RESULTADOS	17
VII.- DISCUSIONES Y CONCLUSIONES	25
VIII.- BIBLIOGRAFIA	33

I.- INTRODUCCION:

En los últimos años se ha podido notar claramente que la población en las zonas costeras ha aumentado. Independientemente de las causas como la descentralización, el desarrollo industrial, recreativo y urbano que se registra en dichas zonas, ha sido necesario su estudio para conocer el comportamiento natural de los fenómenos que ahí se presentan ya que en varias ocasiones el hombre se ha visto afectado por éstos fenómenos principalmente en lo que se refiere a la erosión - de la costa.

Las playas son la parte de la zona costera que más agrada al hombre, sobre todo como medio recreativo, lo cual ha permitido que se desarrollen grandes centros urbanos y a su vez, se ha podido ver su constante movimiento a lo largo del año.

Los cambios que se presentan en la playa pueden ser totales o parciales y ésto es lo que ha estado resaltando la importancia de su Sedimentología puesto que el hombre, con sus construcciones, ha intervenido en esos cambios. Principalmente son dos:

- 1) el aumento de material que amplía la playa (deposición), y
- 2) la disminución de material que reduce la playa (erosión).

Sin embargo, algunas playas presentan cierto equilibrio, esto es, el volumen total de sedimento no tendrá pérdida como tampoco ganancia. Es precisamente el equilibrio en las playas lo que el hombre ha querido mantener por diferentes medios para el mejor aprovechamiento de ellas (Komar, 1976).

El equilibrio de la mayoría de las playas depende de lo constante que sea el aporte de material; éste puede ser transportado a lo largo de la playa o depositarse en aguas profundas, así como también ser llevado tierra adentro por el viento (Einstein, 1951).

Las más probables pérdidas de material en la playa son:

- a) movimiento hacia aguas profundas,
- b) deposición en cañones submarinos,
- c) acción del viento,
- d) abrasión de las olas,
- e) aumento en las barreras litorales, y
- f) remoción de arena con propósitos de construcción.

Por otro lado, las fuentes que aportan arena a la playa son:

- a) ríos y arroyos,
- b) erosión y deslizamiento de acantilados,
- c) movimiento sobre la costa por acción de las olas, y
- d) acción del viento (Johnson, 1959).

Todos éstos factores pueden llegar a ser importantes en ciertas zonas pero por lo regular unos son los que realmente influyen. Por ejemplo, en la costa Este de E.U.A. se ha observado que los ríos no son la principal fuente, sino que es la erosión del acantilado lo que más material aporta a la --playa (Coastal Engineering Research Center, C.E.R.C., 1977); mientras que en las playas de la Costa Oeste sí es considerable el aporte sedimentario por lo ríos y arroyos (Rodolfo, -1970). Por lo tanto, el hablar del balance de sedimento se refiere a su movimiento, transportación y depositación dando como resultado la pérdida o ganancia del mismo. Uno de los propósitos del estudio del balance de sedimento es auxiliar a la Ingeniería Costera para identificar los procesos relevantes en la costa, estimar el volúmen de sedimento requerido con miras a cierto propósito y, a través del material ganado o perdido, completar con exactitud la evaluación de la zona a estudiar (C.E.R.C., 1977).

Cuando se habla del aporte de sedimento en las playas se refiere a ríos y arroyos que conducen hacia el mar, en diferente forma, gran cantidad de material de distinto tamaño, - desde fino (arcilla) hasta grueso (fragmento de roca). Esto se basa en los estudios hechos sobre el aporte de material - en las corrientes fluviales indicando que grandes volúmenes de sedimento llegan a depositarse en estuarios y deltas que posteriormente se irán agregando a la playa; el material fino, limo y arcilla, se depositará directamente en zonas más profundas. Así mismo, se ha observado que la mayor parte -- del material viene en suspensión (limo y arcilla) siendo más marcado en los grandes ríos por que dicho material es muy re trabajado aportando poca cantidad de arena y gran cantidad - de agua; en cambio, los ríos pequeños y los arroyos aportan mayor cantidad de arena, como es el caso preciso de Baja Ca lifornia.

Al depositarse la carga de las corrientes fluviales, in fluyen una serie de factores de la cuenca receptora como -- son: cañones submarinos, barreras naturales y barreras hechas por el hombre, así como su energía (Johnson, 1959 y -- C.E.R.C., 1977).

Es evidente la importancia de conocer el aporte sedimen

tario en el desarrollo de puertos, ciudades y centros turísticos en las zonas costeras, ya que permite conocer el equilibrio de sus playas, el grado de azolvamiento de los puertos así como el grado erosivo de la cuenca de drenaje (Holeman, 1968).

No es sencillo el proceso que presentan las cuencas de drenaje por que son varios los factores que intervienen como: escurrimiento, precipitación, tipo de vegetación, tipo de suelo e incluso el uso que se le dé a la tierra, todo lo cual se - - auna con el clima, la longitud, pendiente y forma de la cuenca. De todos éstos se ha encontrado que los tres primeros (escurrimiento, precipitación y tipo de vegetación) se relacionan de - tal forma que dan una descripción representativa del proceso - (Langbein y Schumm, 1958). Esto se puede apreciar (Fig. 1) - observando que cuando la lluvia disminuye (menos de 10 pulg. - anuales) también disminuye el aporte sedimentario por el poco escurrimiento y, por el contrario, el aumentar la lluvia (más de 14 pulg. anuales) igualmente disminuye el aporte sedimentario por que la capa vegetal se pone más densa y por lo tanto hay menos erosión. Esta relación entre lluvia, vegetación y escurrimiento van a determinar el grado erosivo del suelo lo cual conduce a conocer la variación de la cuenca de drenaje.

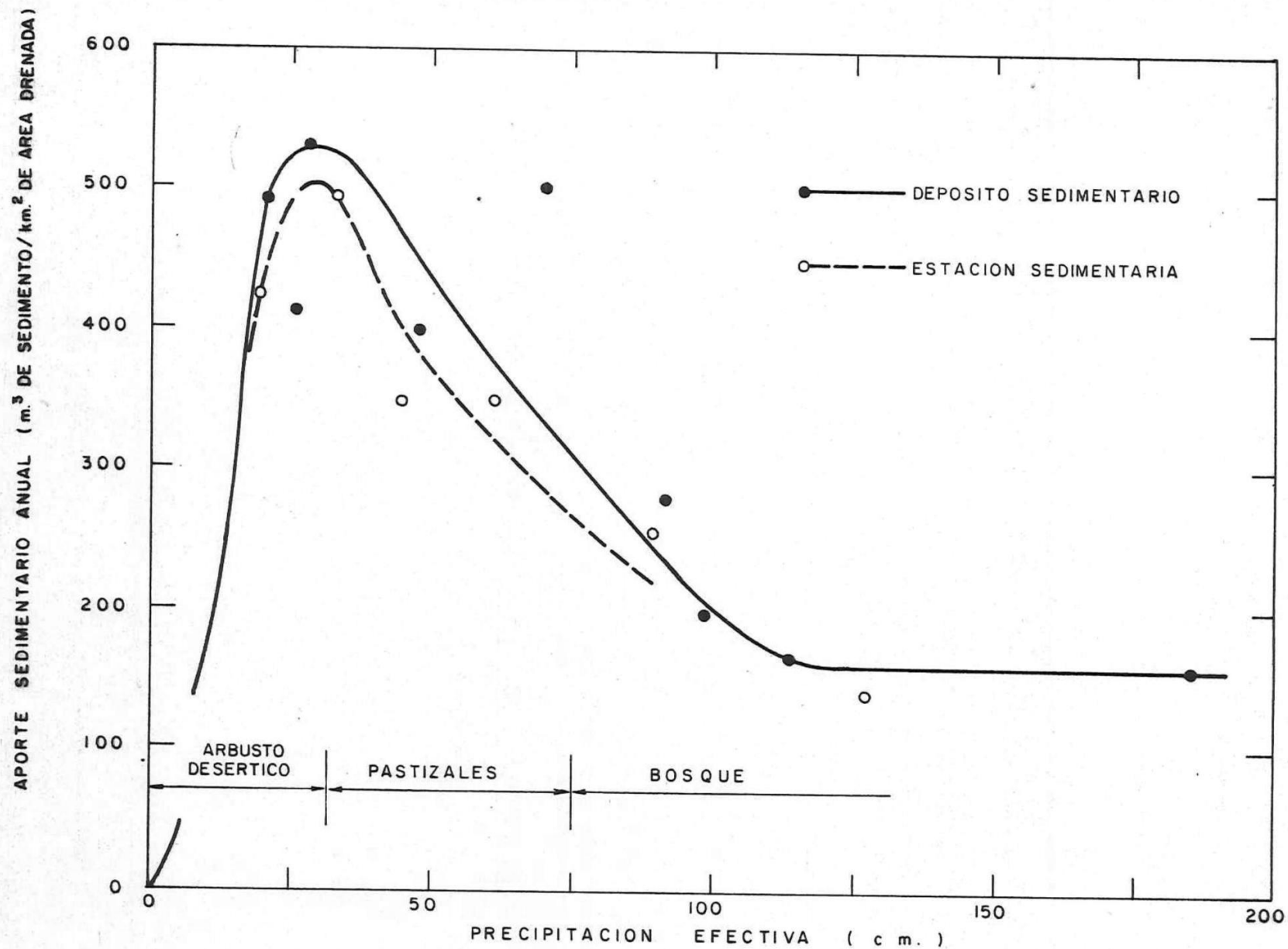


FIG. 1- CURVAS QUE MUESTRAN EL APOORTE DE SEDIMENTO POR UNIDAD DE AREA DE UNA CUENCA DE DRENAGE CON RELACION A LA PRECIPITACION EFECTIVA PARA UN DEPOSITO DE SEDIMENTO Y UNA ESTACION SEDIMENTARIA. (TOMADO DE KOMAR, 1976)

En los últimos años se ha presentado en California, E.U.A., y Baja California un aumento en la precipitación pluvial en contraste con años anteriores. Obviamente ésto ha repercutido en la Bahía de Todos Santos, Baja California, puesto que los arroyos casi inactivos han aumentado en gran medida su aporte sedimentario. Esto lo podemos ver en la rada del Puerto de Ensenada al Noroeste de la Bahía, que presenta un azolve creciente -- siendo necesarios dragados intensivos para mantener su profundidad; así mismo al Sur del Puerto también se ha ido incrementando el material procedente de los otros arroyos en el Estero de Punta Banda, al Sureste de la Bahía.

Debido al desarrollo portuario así como urbano tanto al Sur como al Norte de Ensenada, se considera importante conocer más específicamente la cantidad de material que están aportando los arroyos: El Carmen, Ensenada, El Gallo, San Carlos y Las Animas (San Antonio) para poder determinar el aporte sedimentario a la Bahía, con miras a establecer el balance de sedimento de la misma y así tener bases para determinar los efectos que éste aporte pueda causar en la dinámica de la Bahía.

II.- ANTECEDENTES:

II.1.- Generales.

Los Estudios sobre el cálculo del aporte de sedimento por ríos perennes e intermitentes se han desarrollado en diferentes lugares del mundo teniendo más auge durante las dos últimas décadas.

Einstein, H.A. (1950) realiza un estudio muy completo sobre el sedimento transportado en un canal, considerando sus diferentes características y empleando la ecuación de carga de fondo. Poco después (1951) hace un estudio de la importancia que tiene el aporte de sedimento para el equilibrio de las playas haciendo resaltar las características a considerar y también empleando la ecuación de carga de fondo.

Langbein, W.B. y Schumm, S.A. (1958) relacionan la precipitación efectiva anual con el aporte sedimentario de las cuencas de drenaje en regiones de E.U.A. Su estudio fué bastante detallado llegando a evaluar matematicamente la carga anual de sedimento incluyendo parámetros como el escurrimiento anual y la densidad de la vegetación, concluyendo en el análisis de la variación de la erosión con el cambio de clima.

Johnson, J.W. (1959) determina el aporte y pérdida de arena en una porción de la Costa de California, E.U.A., conside-

rando ampliamente los ríos y arroyos de la zona, así como los principales factores que influyen en la pérdida y ganancia de material en la zona de estudio.

Holeman, N.J. (1968) obtiene el valor del aporte sedimentario en los mayores ríos del mundo y considera necesaria una mejor precisión a pesar de que sus datos se asemejan a otros.

Rodolfo, K.S.R. (1970) se limitó a evaluar el aporte sedimentario en el Sur de California, E.U.A., obteniendo muestras de los arroyos para determinar con mayor precisión la carga en suspensión.

Roberts, W.P. y Pierce, J.W. (1974) determinan la importancia del aporte de sedimento de una cuenca de drenaje durante su desarrollo urbano llegando a afirmar que influye en gran medida.

Komar, P.D. (1976) desarrolla una breve pero completa descripción del balance de sedimento y, en otra forma, también lo describe U.S.A., C.E.R.C. (1977).

II.2.- Particulares.

Se han realizado varios estudios en la Bahía de Todos Santos, Baja California, siendo en los últimos años cuando ha -- aumentado tanto su número como aspectos, con lo cual se tiene un mejor conocimiento del área. Sin embargo son pocos los -- que se han hecho sobre su sedimentología.

Uno de los primeros estudios en la Bahía es el realizado por Emery, K.O., Gorsline, P.S., Uchupi, E y Terry, R.D. -- (1957) donde hicieron un estudio sobre sedimentos en tres -- Bahías de Baja California, indicando que es el oleaje y los arroyos quienes aparentemente controlan la naturaleza y distribución sedimentaria en la Bahía de Todos Santos, Baja California.

El Instituto de Investigaciones Oceanológicas (1967) dependiente de la Universidad Autónoma de Baja California, realizó un estudio oceanológico de la Bahía y menciona, entre -- otras cosas, que los arroyos: Ensenada, El Gallo, San Carlos y Las Animas (San Antonio) son los principales aportadores de sedimento a la Bahía.

Lizarraga Arciniega (1972) encontró que el transporte -- litoral en la playa adyacente al Sur del Puerto de Ensenada,

era de Sur a Norte y que la línea de playa avanzó hacia el mar de 1961 a 1971.

Gonzalez Yajimovich (1981) hace una evaluación del transporte eólico en una porción de playa de la Bahía de Todos Santos, B.C., concluyendo que dicho transporte es de Oeste a Este (Mar-Tierra) el cual llega a erosionar la playa.

Gómez-Morín Fuentes (1982) empleó el análisis hipsométrico en la rada del Puerto de Ensenada donde se observó un notable aumento de la sedimentación entre los años de 1967 y 1981, siendo dos los principales factores: 1) Aporte de sedimento del arroyo Ensenada, y 2) La deriva litoral que resulta de la difracción del oleaje por el rompeolas.

En 1982 Mendez Arreaga hizo un estudio del transporte litoral predominante en la Bahía de Todos Santos, B.C., llegando a determinar la corriente litoral.

Pérez Higuera (1982) en su estudio de proveniencia de minerales pesados del arroyo El Carmen con el cual estableció una relación mineralógica con las rocas del área, mencionando que las muestras sugieren que la fuente principal es el Granito y Tonalita así como el que las rocas ígneas intrusivas --

presentan menor resistencia a la desintegración mecánica por lo cual proporcionan mayor cantidad de granos minerales al depósito.

Aranda Manteca (1983) determinó la corriente litoral en la Bahía de Todos Santos, Baja California, usando minerales pesados como trazadores con lo cual realizó un patrón detallado de dicha corriente en la Bahía

III.- OBJETIVO:

Este trabajo tiene como objetivo calcular el aporte de sedimento a la Bahía de Todos Santos, Baja California, por los arroyos El Carmen, Ensenada, El Gallo, San Carlos y Las Animas (San Antonio), en el período 1972-1983.

IV.- DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO:

La zona de estudio se localiza al Noroeste de la Península de Baja California a 100 Km al Sur de la frontera con Estados Unidos de Norteamérica y corresponde al sistema de arroyos y sedimentos de la franja costera de la Bahía de Todos Santos, Baja California, la cual se extiende desde los $31^{\circ} 43'$ a $31^{\circ} 55'$ de latitud Norte, y de los $116^{\circ} 36'$ a los $116^{\circ} 50'$ de longitud Oeste.

La Bahía cubre un área aproximada de 25,000 hectáreas con 18 Km de largo y 14 Km de ancho. Los accidentes que la circundan son: Punta de San Miguel que marca su extremo Norte, Punta del Morro, Cerro del Vigía, el Estero de Punta Banda y la Península de Punta Banda con más de 10 Km de longitud por 2 Km de ancho y con una altura hasta de 370 mts sobre el nivel del mar. Completan el anillo de la Bahía las dos Islas de Todos Santos (I.I.O., 1967).

En el presente trabajo se escogieron los arroyos: El Carmen, Ensenada, El Gallo, San Carlos y Las Animas (San Antonio), por que son los que influyen directamente en el aporte de sedimento a la Bahía de Todos Santos. Su localización es la siguiente: el arroyo El Carmen desemboca en Punta San Miguel, en el extremo Norte de la Bahía; el arroyo Ensenada desemboca en la rada del Puerto, al Noreste de la Bahía; el arroyo El Gallo en el Sur de Ensenada; los arroyos San Carlos y Las Animas (San Antonio) desembocan en el Estero de Punta Banda en su parte Norte y Sur respectivamente, al Sureste de la Bahía (Fig. 2).

V.- MATERIALES Y METODO:

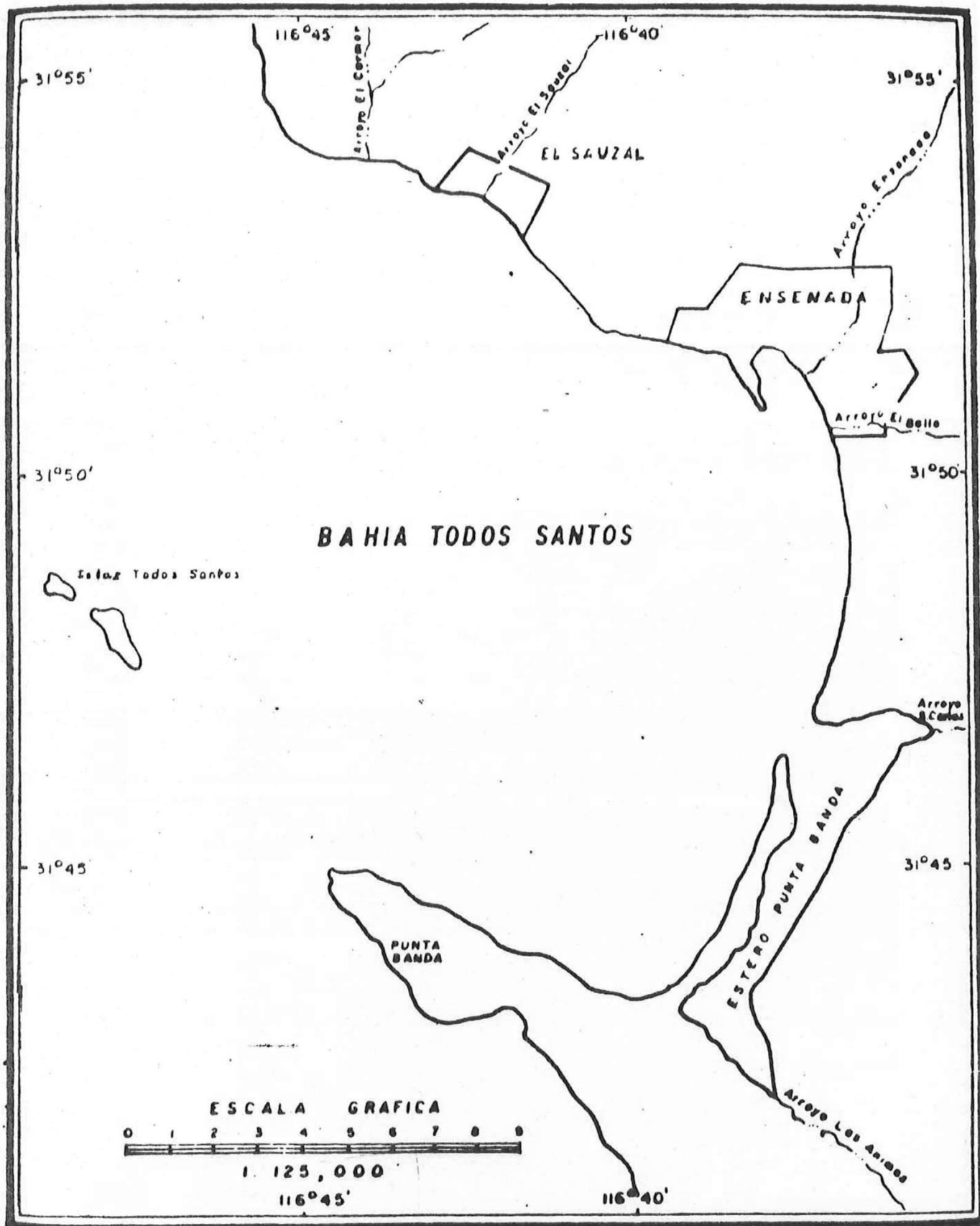


FIG. 2 Localización del Area de Estudio. (Tomado de Méndez, 1982).

a) MATERIALES.

- Mapas topográficos de la región
- Planímetro
- Estadística de precipitación pluvial de la Estación No. 16, Ensenada, B.C., Estación No. 25, Ojos Negros, B.C., Estación No. 35, San Carlos, B.C., Estación No. 94, Punta Banda, B.C., y No. 96, El Cipres, de la Secretaría - de Recursos Hidráulicos para los años 1972 a 1983.

b) METODOS.

Para escoger la metodología a emplear se obtuvo bibliografía con el fin de tener la que cumpliera con las condiciones del área así como los datos disponibles.

Las áreas de las cuencas se obtuvieron con un planímetro polar usandose los mapas topográficos de D.E.T.E.N.A.L. y del Consejo de Recursos No Renovables que corresponden a la zona de estudio.

Se obtuvieron los datos de precipitación pluvial mencionados anteriormente en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y también se buscaron datos de cobertura vegetal y desfogue de la presa Emilio López Zamora pero - con resultados parciales, puesto que los datos de cobertura vegetal unicamente se reportan en zonas agrícolas y no

en la totalidad de la cuenca, por otro lado, los datos del defoque se tienen unicamente en los tres últimos años y no constantemente lo cual, al igual que la cobertura vegetal, no es representativo para este estudio.

Se procedió a escoger la fórmula de Langbein y Schumm - (1958) quienes relacionaron la variación climática con el aporte sedimentario y también consideraron el efecto erosivo de la lluvia con la acción protectora de la vegetación ya que después de un análisis se encontró que dicha fórmula era la más adecuada para el tipo de datos que se tiene.

La fórmula expresa matemáticamente las acciones opuestas de la lluvia como agente erosivo y la vegetación como agente protector de la siguiente manera:

$$S = aP^m \frac{1}{1 + bP^n}$$

donde: $S =$ carga anual en ton por milla²,

$P =$ precipitación efectiva anual,

m y $n =$ exponentes, y

a y $b =$ coeficientes.

Los siguientes factores describen:

$$aP^m = \text{acción erosiva de la lluvia con ausencia vegetal, y}$$

$$\frac{1}{1 + bP^n} = \text{acción protectora de la vegetación.}$$

A partir de ésta ecuación se obtuvieron los resultados - aproximados para los datos de una estación sedimentaria y un depósito de sedimento llegando a generalizarla para las diferentes zonas climáticas y fisiográficas a lo largo de E.U.A., obteniendo resultados que coincidían con lo que se presentaba en la realidad.

La ecuación para un depósito sedimentario es:

$$S = \frac{20 p^{2.3}}{1 + 0.007 p^{3.33}}$$

donde: S = carga anual en ton por milla²,

P = precipitación efectiva anual, y

los valores constantes son para
un depósito de sedimento.

Esta es la ecuación que se escogió porque es para un de-

pósito de sedimento, además por la disposición de datos y por que las características físicas del Sur de California, E.U.A., y Baja California, México, son muy similares, por lo cual el resultado es confiable y cumple con el objetivo ya mencionado.

Como el resultado obtenido es en toneladas por milla cuadrada (ton/milla^2), se hizo la conversión a metros cúbicos -- por kilómetro cuadrado (m^3/km^2) considerando, al igual que -- Langbein y Schumm, una densidad promedio del depósito de 961 kg/m^3 .

VI.- RESULTADOS:

La fig. 3 muestra las cuencas de drenaje estudiadas con su respectiva área sobresaliendo las cuencas del arroyo San Carlos y Las Animas (San Antonio), por su gran tamaño en comparación con las otras tres que varían poco.

La tabla 1 muestra los siguientes resultados: Período de estudio, precipitación media, aporte de sedimento y sus totales.

El período se consideró desde 1972 a 1983 del mes de Septiembre a Agosto para tener una mejor información de la época de lluvia; la precipitación media dada en cms se obtuvo de --

T A B L A 1

PERIODO (SEP-AGO)	PRECIPITACION Media (Cm)	APORTE DE SEDIMENTO (m ³ año)					T O T A L Por Ciclo
		EL CARMEN	ENSENADA	EL GALLO	SN. CARLOS	LAS ANIMAS	
1972-1973	37.08	60,638	70,745	41,335	248,011	270,851	691,580
1973-1974	16.58	6,754	7,879	4,604	27,622	30,166	77,025
1974-1975	26.56	29,916	34,900	20,393	122,356	133,625	341,192
1975-1976	26.40	27,497	32,080	18,744	112,462	122,819	313,602
1976-1977	30.95	39,262	45,805	26,763	160,580	175,368	447,778
1977-1978	54.35	105,374	122,936	71,830	430,979	470,670	1,201,789
1978-1979	45.77	76,187	88,885	51,934	311,604	340,301	868,911
1979-1980	47.73	81,261	94,804	55,393	332,357	362,966	926,781
1980-1981	18.45	15,250	17,791	10,395	62,371	68,115	173,922
1981-1982	25.79	28,606	33,373	19,499	116,997	127,772	326,247
1982-1983	51.69	97,294	113,509	66,322	397,931	434,578	1,109,634
T O T A L Por Cuenca		568,039	662,709	387,212	2,323,270	2,537,231	6,478,461

las cinco estaciones meteorológicas mencionadas; el aporte de sedimento está indicado anualmente en cada una de las cuencas estudiadas y se muestran dos totales: Uno es el de todo el aporte de sedimento en cada cuenca (parte inferior), y el otro, indica el aporte de sedimento en las cinco cuencas anualmente (extremo derecho).

La fig. 4 muestra una relación del aporte total anual de sedimento (m^3 por cada Km^2) con la precipitación efectiva (cm), haciendonos ver un comportamiento cíclico puesto que en 1973 - 1974 y 1980 - 1981 hay dos valores mínimos y los valores máximos son en 1977 - 1978 y 1982 - 1983.

En la fig. 5 se muestra el aporte de sedimento en las cinco cuencas estudiadas que nos permiten ver la diferencia entre ellas y el histograma de la fig. 6, nos hace ver más claramente dicha diferencia anualmente en las cinco cuencas.

La fig. 7 también indica el aporte de sedimento pero únicamente en tres cuencas: El Carmen, Ensenada y El Gallo que tienen áreas similares pero diferentes razones de aporte sedimentario.

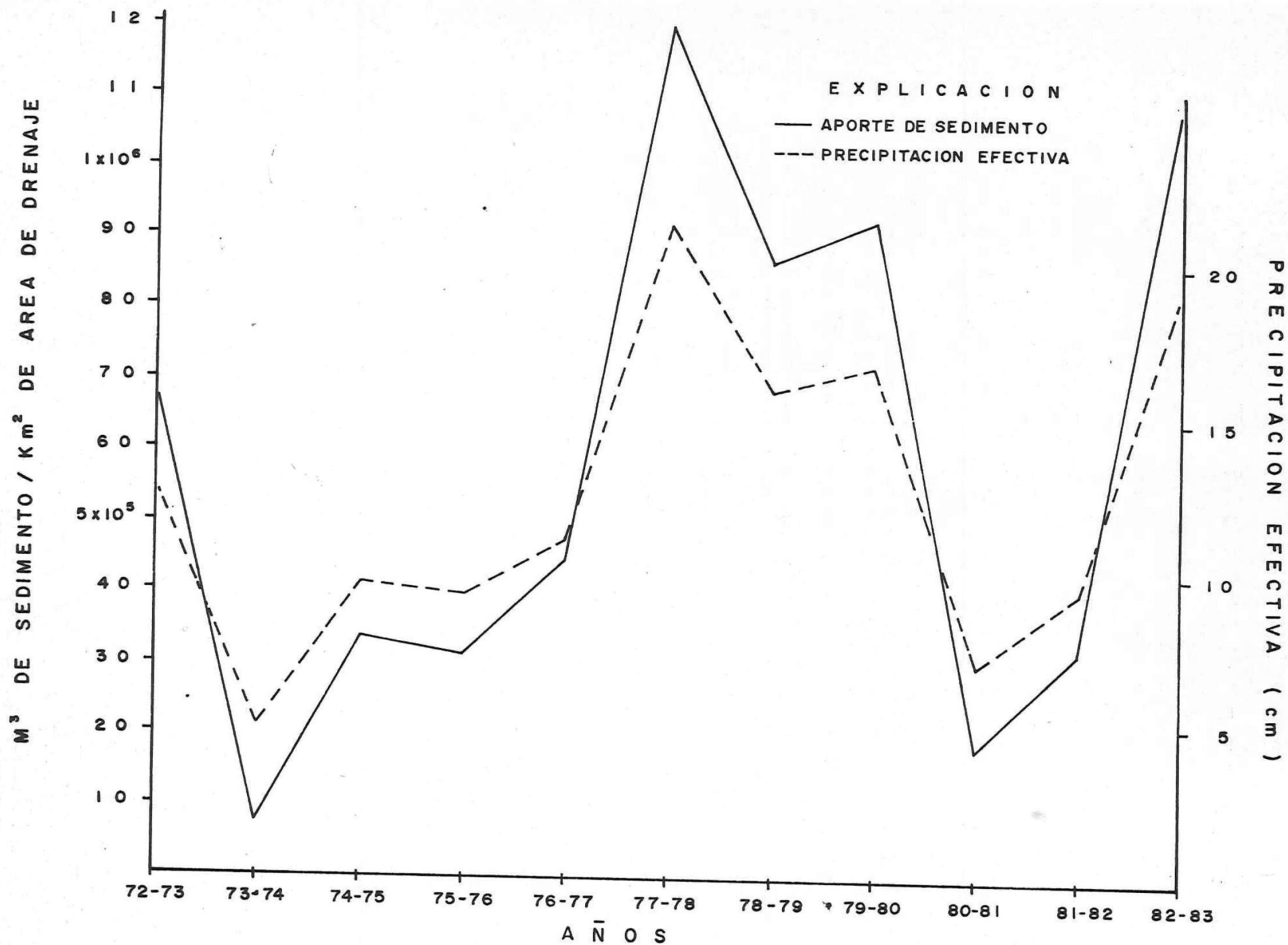


Fig. 4 — CURVAS QUE INDICAN EL APORTE DE SEDIMENTO POR AREA DE CUENCA DE DRENAJE EN RELACION CON LA PRECIPITACION EFECTIVA.

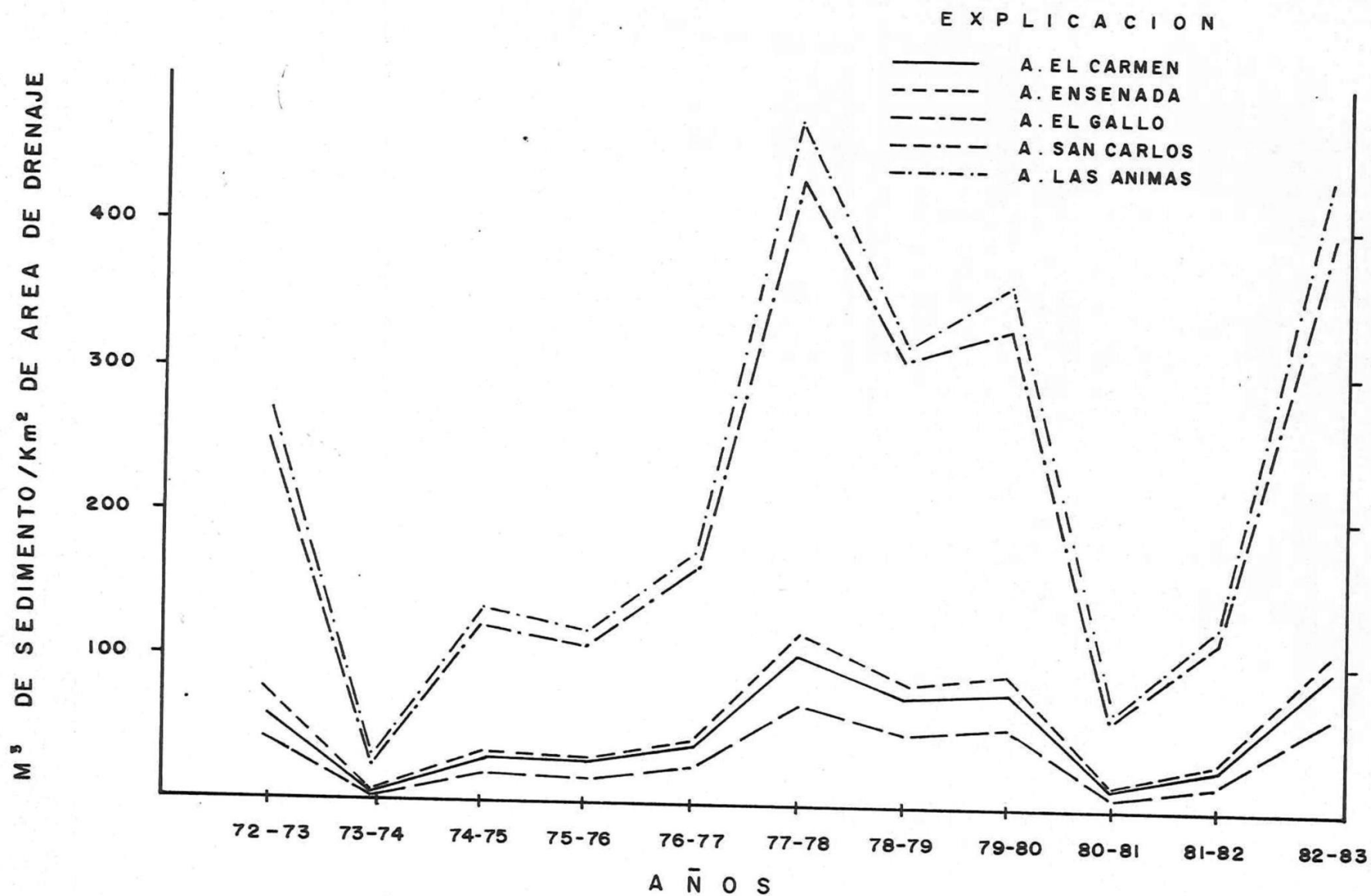


Fig. 5 - CURVAS DEL APOORTE DE SEDIMENTO ANUAL EN LAS CINCO CUENCAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.

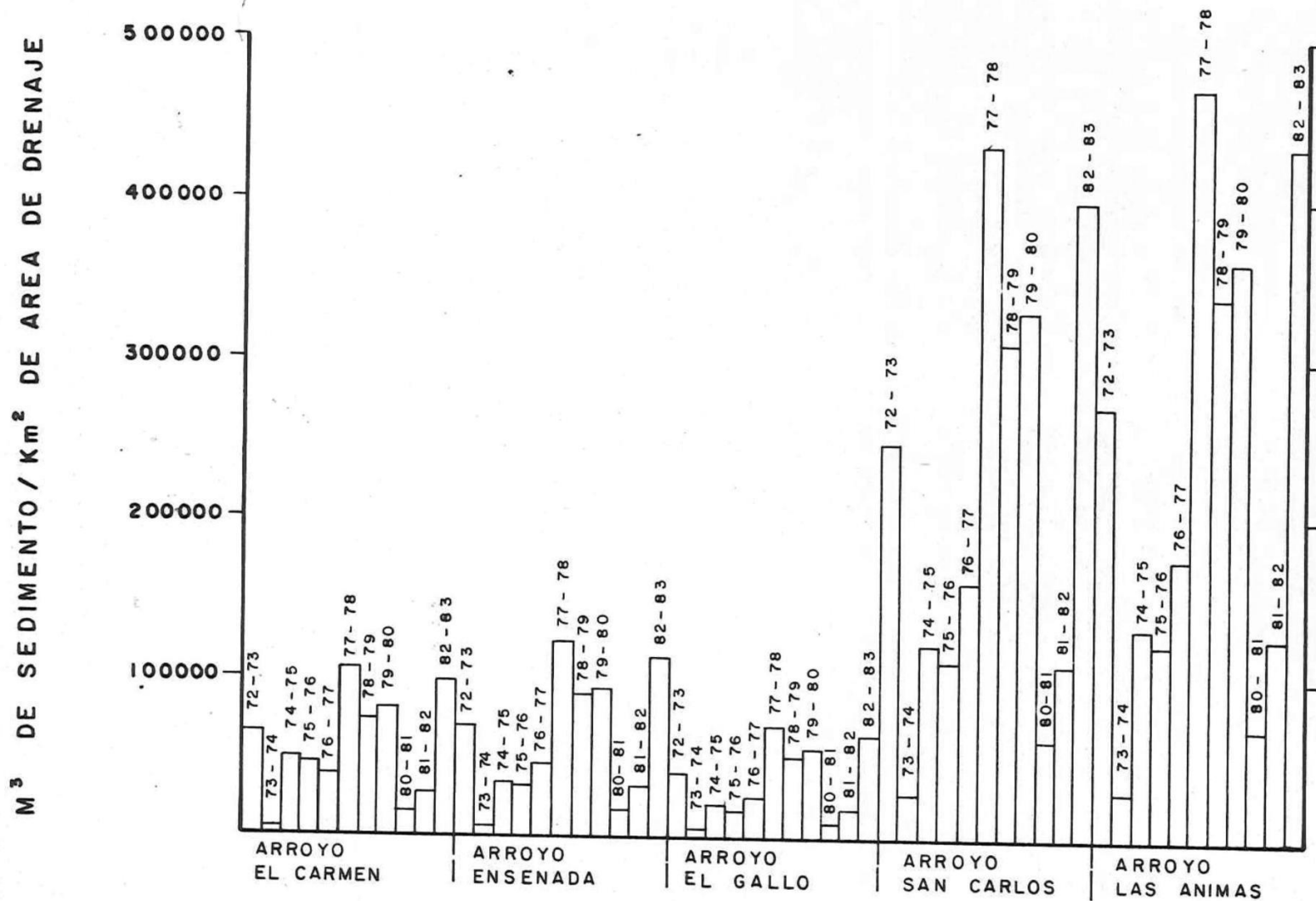


FIG. 6 - HISTOGRAMA QUE INDICA EL APORTE DE SEDIMENTO ANUAL EN LAS CINCO CUENCAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.

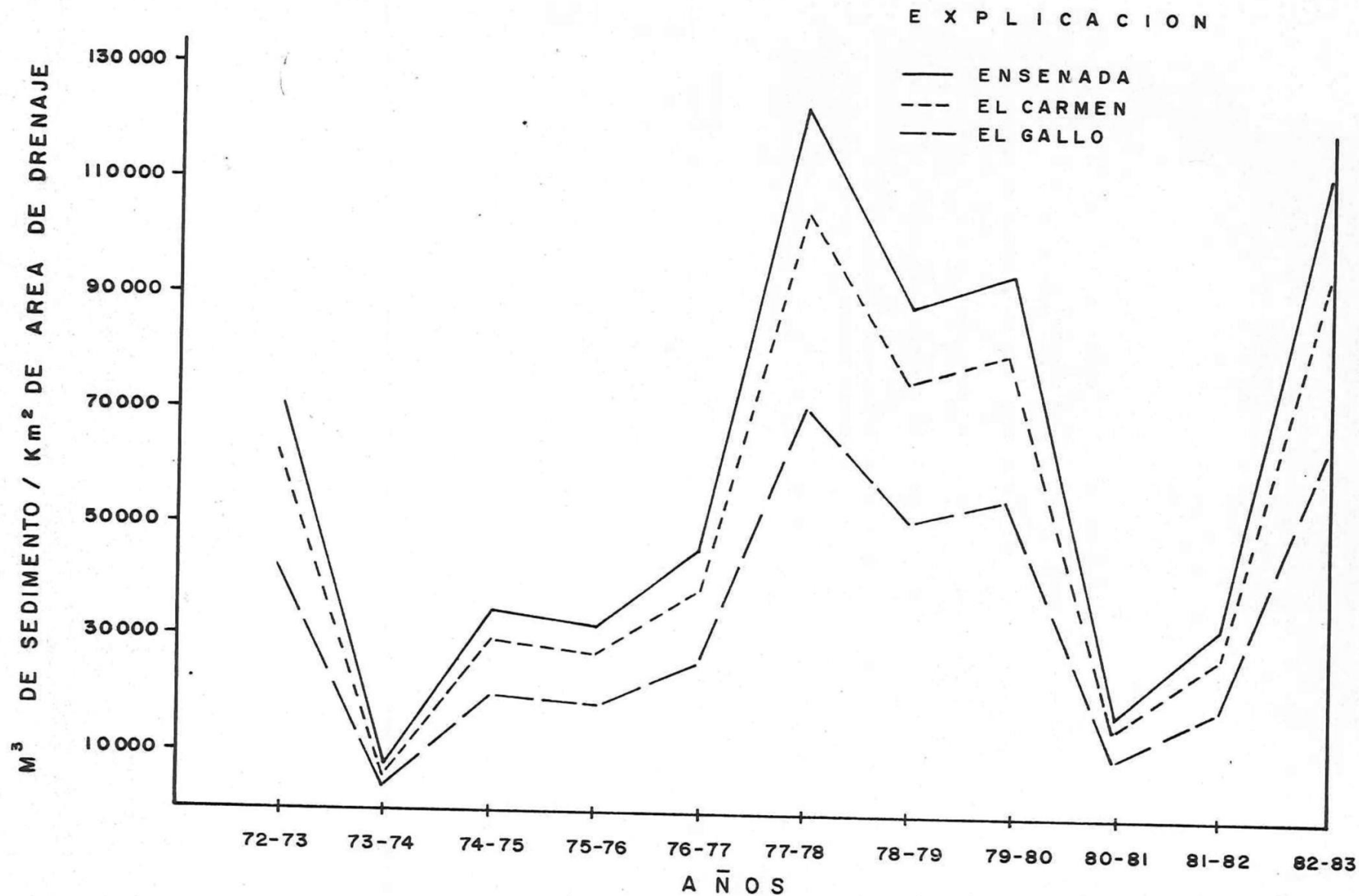


Fig.— 7- CURVAS DEL APOORTE DE SEDIMENTO ANUAL DE LAS CUENCAS : ENSENADA EL CARMEN Y EL GALLO .

VII.- DISCUSIONES Y CONCLUSIONES.

Los totales por ciclo del aporte de sedimento que se muestran en la Tabla 1, indican dos valores máximos durante 1977 - 1978 y 1982 - 1983 que corresponden con los valores máximos de precipitación media.. También cabe el mencionar que en los primeros cinco años (1972 a 1977) la Bahía recibió menor aporte de sedimento que durante los últimos años (1978 a 1982), debido a que los valores de la precipitación son mayores. Esto se puede explicar por los factores que influyen en el volumen de escurrimiento de una cuenca, como es el caso de la urbanización y el aumento de área utilizada para la agricultura.

La zona de estudio tiene las siguientes características: su vegetación presenta pastizal y arbusto desértico, la precipitación pluvial es baja y escasa a lo largo del año con raras tormentas, su clima es mediterraneo desértico y además su ubicación geográfica indica que es una región semi-árida (Secretaría de Marina, 1974). Estas regiones presentan una erosión -- particular la cual consiste en una serie de zanjas discontinuas en zonas que tienen una pendiente pronunciada (Schumm y Hadley, 1953) y además los estudios de Brown (1950) en regiones similares, indican que cuando la precipitación es menor de 51 cm la erosión en dichas zanjas aportan gran cantidad de la carga total sedimentaria.

La urbanización ha afectado principalmente a las cuencas de los arroyos de Ensenada y El Gallo mientras que en las - - otras no han avanzado los asentamientos urbanos. Los estudios similares hechos en otras áreas por Roberts y Pierce -- (1974) han señalado que la urbanización elimina la cobertura vegetal y por ello se incrementa el escurrimiento y el aporte de sedimento a más del doble de lo normal, aunque disminuya - la precipitación. Por otro lado, el aumento de terreno agrícola en todas las cuencas ha sido notable siendo más evidente hacia la parte Este de la zona de estudio, donde se presentan pendientes marcadas y no se utilizan medidas de control de escurrimiento (Comunicación personal Ing. Palomares, S.A.R.H., Abril de 1983) lo cual aumenta el volúmen de escurrimiento y también Brown (1950) demostró que con la aplicación de medidas de control se reduce el escurrimiento desde un 25% a 90%.

Así mismo se puede mencionar dentro de la variación de - aporte sedimentario entre cada cuenca, el cambio de intensidad de la lluvia y las tormentas que se han presentado en los últimos cinco años han causado serios destrozos al aumentar - en gran medida las corrientes de los arroyos y por lo tanto, el aumento del aporte sedimentario el cual se hace evidente - en los lechos de los arroyos, en la rada del Puerto de Ensenada y en el Estero de Punta Banda.

Otro factor importante que ha afectado a la zona de estudio en los últimos años, son los incendios forestales puesto que la vegetación existente (pastizal y arbusto desértico) es presa fácil del fuego durante el verano, llegando a incendiarse grandes extensiones de la vegetación de las cuencas; ésto provoca que el suelo sea afectado desde el inicio por el impacto de las gotas de lluvia llegando a aumentar el escurrimiento. Anderson (1949) indicó que es necesario emplear medidas de control para evitar la disminución de la cobertura vegetal. Además, dicha cobertura no se regenera ni tan sólo un 25% para el siguiente período de lluvias. (Comunicación personal, Ing. Palomares, S.A.R.H.).

Referente a los totales por cuenca, cabe mencionar los valores altos de aporte de sedimento de las cuencas San Carlos y Las Animas en relación con las demás. Brown (1950) señala que en los cauces de los arroyos existen trampas o depósitos naturales que atrapan sedimento y que en total suman un volúmen considerable que no llega a la costa. Esto es más notorio en las cuencas San Carlos y Las Animas puesto que su cauce es más ancho y de mayor longitud que las otras (El Carmen, Ensenada y El Gallo). Además de que hacia el Este de di

chas cuencas el terreno es más accidentado.

Relacionado a lo anterior, en la cuenca del arroyo de Ensenada, la presa Emilio López Zamora actúa como una trampa de sedimentos pero se carece de datos para determinar el volumen de sedimento atrapado.

Los estudios de Matalas (1963) demuestran que el escurrimiento en cualquier ciclo de lluvias depende del escurrimiento de los ciclos anteriores. Por lo tanto, de la fig. 4 se observa que cuando se iniciaron los períodos de lluvias intensas, la precipitación era mayor que el aporte sedimentario y, posteriormente, dicha razón se invirtió. Esto se debe a varios factores, entre los cuales se pueden incluir: saturación del suelo y película de retención superficial, aumento en la precipitación, urbanización y agricultura ya mencionados. Esto lleva a la conclusión de que a medida que se incrementan los desarrollos urbanos y agrícolas, los factores como aporte de sedimento, que en cierto momento pueden controlarse, llegan a ser incontrolables aún cuando la precipitación sea baja. Esto se puede confirmar ya que es imposible controlar los ciclos de precipitación o en su defecto, el volumen de escurrimiento.

El aporte de sedimento por ríos y arroyos en las zonas costeras es importante puesto que tiene dos consecuencias: una positiva ya que aumenta el volumen de material en las playas y de ésta manera protegen a la costa de agentes erosivos y por otro lado, una negativa ya que el aporte de sedimento puede llegar a azolvar las construcciones en la zona costera.

En la Bahía de Todos Santos, Baja California, se han resentido las consecuencias arriba mencionadas y sobresale el hecho de que el Puerto de Ensenada se haya azolvado considerablemente en los últimos años debido al aumento en la precipitación y tormentas (Gómez-Morín, 1982). Los estudios realizados por Langbein y Schumm (1958) indican que las zonas que normalmente tienen baja precipitación (0 a 30 cm), cuando ésta se incrementa también aumenta la erosión, mientras que si la precipitación es normalmente alta (mayor de 100 cm), un aumento de ésta se mantiene constante la erosión. La zona de estudio presenta normalmente una precipitación baja, como se puede ver en la Tabla 1 en los años de 1973 a 1977 y durante el ciclo 1977 - 1978 aumentó a más del doble para que los dos ciclos siguientes también fuera casi dos veces de lo normal, durante 1980-1981 vuelve su baja precipitación así como 1981-

1982 pero en el último ciclo de lluvias se presenta otro aumento de dos veces lo normal. Esto explica el aumento erosivo en las cuencas estudiadas manifestándose en la rada del Puerto y en el Estero de Punta Banda que se observan en el azolve creciente.

El sedimento que ha sido aportado a las playas de la Bahía ha tenido un efecto positivo dentro de la mecánica del transporte puesto que ha disminuido en cierta medida el efecto erosivo del oleaje, sin embargo, durante las marejadas de los dos años últimos pasados la erosión de las playas en el centro de la Bahía (Playa Hermosa) ha sido muy notable por lo que se puede deducir que de no existir el aporte por los arroyos, dicha erosión puede aumentar hasta convertirse en un problema mayor. Es importante que se realicen estudios sobre la razón de erosión en esas playas para que aunado a los datos de aporte por arroyos, pueda tenerse una visión más completa del balance sedimentario en la Bahía.

Como se hizo ver con anterioridad, los datos de aporte sedimentario fueron obtenidos de un modo indirecto utilizando datos de precipitación y áreas de cuencas de drenaje, que aunque dan una aproximación bastante precisa de los volúmenes de

aporte, no serían comparables si se hubieran utilizado datos directos de descarga de los arroyos.

El cálculo del aporte por métodos directos no es posible realizarlo porque en la zona de estudio no se cuenta con estaciones de sedimentación o de escurrimiento en los arroyos donde se tienen datos continuos a lo largo de cada período de lluvia. Esto es particularmente importante puesto que según los estudios de Rodolfo (1970), el escurrimiento y descarga de sedimento varia no tan solo de un año a otro sino entre una y otra tormenta durante el mismo período de lluvia y que, aunado a lo anterior, un impedimento mayor para la obtención precisa de datos, es la acción del hombre en la modificación de las cuencas de drenaje.

Se recomienda implementar estaciones de sedimentación y medición de escurrimiento cuando menos en los arroyos: Ensenada, El Gallo, San Carlos y Las Animas (San Antonio) para obtener sus descargas que afectan directamente al Puerto de Ensenada y al Estero de Punta Banda. Además, ésto permitiría hacer un cálculo mucho más preciso del aporte de sedimento facilitando en gran medida los estudios que se llevaran a cabo

sobre la mecánica que presenta la Bahía de Todos Santos.

Si se contara con los datos mencionados anteriormente, se podría aplicar una metodología más precisa a saber: Fry (1950), Rodolfo (1970), Amer. Soc. of Civil Engineers (1970) o Manual de Conservación del Suelo y del Agua (1977); con los que se puede determinar detalladamente la carga en suspensión y carga de fondo y así obtener datos precisos mediante los cuales se obtenga la cantidad de sedimento que puede quedar en la playa o en su defecto depositarse mar adentro.

VIII.- BIBLIOGRAFIA.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. 1970. "Sediment Sources and Sediment Yields." Journ. of the Hydraulics - Division. Proc. Am. Soc. Civil Eng. HY6 Vol. 96; -- p.p. 1283 - 1329.

ANDERSON, H.W. 1949. "Flood Frequencies and Sedimentation -- from Forest Watersheds. Trans. Am. Geophy. Union Vol. 30, No. 4; p.p. 567 - 583.

ARANDA, M. F. J. 1983. "Estudio de Minerales Pesados como - Trazadores de la Corriente Litoral en la Bahía de Todos Santos, Baja California." Tesis de Licenciatura, E.S.C.M., Ensenada, B.C., México.

BROWN, C. B. 1950. "Effects of Soil Conservation". En: - - Applied Sedimentation, Trask, P.D. Editor John Wiley & Sons. New York. 707 p.

EINSTEIN, H. A. 1950. "The Bed-load Function for Sediment - Transportation in Open Channel Flows." U.S. Dept. of Agri., Tech. Bull. No. 1026; 71 p.

EINSTEIN, H. A. 1951. "Estimating Quantities of Sediment Supplied by Streams to a Coast." Proceeding 1st. Conference on Coastal Engineering, Univ. California Press, Berkeley; p.p. 137-139.

- FRY, A. S. 1950. "Sedimentation in Reservoirs." En: Applied Sedimentation, Trask, P.D. Editor John Wiley & Sons. New York. 707 p.
- GOMEZ-MORIN FUENTES, L. 1982. "Análisis Hipsométrico del Puerto de Ensenada, Baja California." Ciencias Marinas, Vol. 8, No. 2; p.p. 7-24.
- GONZALEZ YAJIMOVICH, O.E. 1981. "Transporte Eólico en una Porción de Playa de la Bahía de Todos Santos, Baja California." Tesis de Licenciatura, E.S.C.M., Ensenada, B. C., México.
- HOLEMAN, N. J. 1968. "The Sediment Yield of Major Rivers of the World." Water Resources Research, Vol. 4, No. 4; p.p. 737-747.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLOGICAS (I.I.O.), E.S.C.M. 1967. "Estudio Oceanológico de la Bahía de Todos Santos, Baja California." Parte I (no publicadó).
- JOHNSON, J. W. 1959. "The Supply and Loss of Sand to the Coast." Journ. of the Waterways and Harbors Division; p.p. 227-251.
- KOMAR, P. D. 1976. "Beach Processes and Sedimentation." Englewood Cliffs. Prentice-Hall, Inc.; p.p. 227-248.

- LANGBEIN, W. B. & SCHUMM, S. A. 1958. "Yield of Sediment in Relation to Mean Annual Precipitation." Trans. Am. - Geophys. Union. Vol. 39, No. 6; p.p. 1076-1084.
- LIZARRAGA, A. R. 1972. "Estudio de los Movimientos Cíclicos de la Playa en la Bahía de Todos Santos, Baja California, por Medio de Secciones Transversales." Tesis de Licenciatura, E.S.C.M., Ensenada, B. C., México.
- MANUAL DE CONSERVACION DEL SUELO Y DEL AGUA. 1977. "Escu- rrimientos Superficiales" Colegio de Postgraduados, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. - Chapingo, México; p.p. 26-64.
- MATALAS, N. C. 1963. "Statistics of a Runoff-Precipitation Relation." Geolog. Survey Professional Paper 434-D; p.p. D1-D9.
- MENDEZ, M. 1982. "Determinación del Transporte Litoral -- Predominante en la Bahía de Todos Santos, Baja California." Tesis de Licenciatura, E.S.C.M., Ensenada, B. C., México.
- PEREZ, H. R. 1982. "Relación Mineralógica entre el Area -- Drenada por el Arroyo El Carmen y su Depósito." Tesis de Licenciatura, E.S.C.M., Ensenada, B.C., México.

ROBERTS, W. P. & PIERCE, J. W. 1974. "Sediment Yield in the Patuxent River (MD.) Undergoing Urbanization 1968 - - 1969." *Sedimentary Geology*, Vol. 12; p.p. 179-197.

RODOLFO, K. S. R. 1970. "Annual Suspended Sediment Supplied to the California Continental Borderland by the Southern California Watershed." *Jour. of Sedimentary -- Petrology*. Vol. 40, No. 21; p.p. 666-671 (Figs. 1-3).

SCHUMM, S. A. & HADLEY, R. F. 1957. "Arroyos and the Semiarid Cycle of Erosion." *Am. Journ. of Science*. Vol. - 255; p.p. 161-174.

SECRETARIA DE MARINA 1974. "Estudio Geográfico de la Región de Ensenada, B.C." Publicado por la Dirección General de Señalamientos Marítimos; México, D.F., pp. 131-156.

U.S.A. COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER. 1977. "Shore - Protection Manual, Vol. I."; p.p. 4-116 a 4-134.