

## ANALISIS HIPSOMETRICO DEL PUERTO DE ENSENADA, B. C.

Por

Lorenzo Gómez-Morín F. y Román Lizárraga Arciniega  
Instituto de Investigaciones Oceanológicas  
Universidad Autónoma de Baja California  
Apartado Postal 453  
Ensenada, Baja California, México.

### RESUMEN

*En el Puerto de Ensenada, Baja California, México, se realizó un estudio de sedimentación con el objeto de cuantificar el volumen de sedimento depositado en el mismo.*

*Se aplicó el concepto de hipsometría en este análisis, elaborándose curvas hipsométricas en base a la batimetría del puerto para los años de 1967, 1975, 1978 y 1981. Con ello se obtuvo el volumen de la cuenca para cada año y la diferencia de volúmenes señaló el volumen neto de sedimento depositado. Se determinó que el Puerto de Ensenada se está azolvando progresivamente y que dicho azolve ha ocurrido tanto en el área de la playa, como en la de los muelles y del canal de navegación. El material ha sido aportado por la deriva litoral y por el Arroyo de Ensenada que desemboca en la rada del puerto.*

### ABSTRACT

*A sedimentation study was conducted in the Port of Ensenada, Baja California, México, to calculate the bulk of sediment that has been deposited.*

*The concept of hypsometry was applied in the analysis with the elaboration of hypsometric curves based on the bathymetric charts for the years of 1967, 1975, 1978 and 1981; the volume of the basin was obtained for each year and according to the differences between them, the bulk of sediment deposit was found. This study showed that the Port of Ensenada is progressively shoaling and that this deposition occurs both in the beach zone and in the navigation channel. The Arroyo Ensenada that flows out into the port and the littoral drift were found to be sources of material to the basin.*

## INTRODUCCION

En los estudios de Ingeniería costera, en especial cuando se plantea la construcción de un puerto, se debe medir la deriva litoral de sedimento para establecer la relación de erosión o depósito de material sedimentario en la zona de estudio. Esto es con el objeto de poder evitar en lo posible, que una vez construido el puerto, se vea afectado en el calado, profundidad, etc., por azolve del canal de navegación y de los muelles en general.

Los estudios de problemas de azolve en puertos han sido realizados frecuentemente por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos de Norteamérica (USACERC), así como por Maggon (1978), Johnson (1970) y Caldwell (1950) entre otros. En este tipo de estudios se hace ver la necesidad de cuantificar con la máxima precisión posible, el volumen de sedimento depositado o erosionado en el puerto para evaluar el impacto económico debido al azolve del canal de navegación y del puerto en general, y con ello establecer las medidas de prevención o de corrección.

En los años de 1976 a 1980, la precipitación pluvial en Baja California, México (meses de invierno) fue muy intensa (aproximadamente 425 mm promedio anual, SARH, 1981), ocasionando graves problemas a todo el estado y en particular al Municipio de Ensenada. A consecuencia de esta precipitación poco común en la zona, el Arroyo Ensenada volvió a tener un caudal muy grande aportando sedimentos terrígenos a la dársena del Puerto de Ensenada que es donde desemboca. Este aporte hizo que la línea de playa tuviera un avance considerable hacia el mar, algo que no era tan evidente cuatro años atrás.

El propósito de este trabajo es el de cuantificar el volumen de sedimento depositado en la rada del Puerto de Ensenada e inferir las posibles causas de este depósito.

Para resolver este problema se aplicaron los conceptos básicos del análisis hipsométrico propuesto por Strahler (1952), quien lo define como: "El estudio de la distribución de área superficial con respecto a un datum deseado y la base de este método es la elaboración de curvas hipsométricas que son la representación gráfica de la distribución de área con respecto a la altura". Strahler (op. cit.) aplicó el análisis hipsométrico a cuencas de drenaje y obtuvo entre otros aspectos, información sobre el estado de desarrollo geológico y las características hidrológicas de cada cuenca estudiada. Plantea además, otras aplicaciones prácticas del método, entre ellas, los estudios de sedimentación. En años recientes, las curvas hipsométricas han sido utilizadas en Paleooceanografía por Forney (1975), Bond (1976, 1978a y 1978b) y también en la hidráulica de estuarios por Boon y Byrne (1980).

La construcción del Puerto de Ensenada se inició en 1952 (Secretaría de Marina, 1952) y en los estudios previos se determinó que el transporte litoral de

sedimentos en la zona era nulo y que por ello las condiciones eran de equilibrio. El Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) de la Universidad Autónoma de Baja California (1967), llevó a cabo un estudio oceanológico en la Bahía de Todos Santos, B. C., donde determinó que la construcción del rompeolas del Puerto de Ensenada produjo un aumento en la sedimentación en las zonas sur de los espigones de protección de la playa adyacente al sur del puerto. Como hace notar el reporte, los espigones de protección tienen como finalidad detener el acarreo de sedimentos de sur a norte, producto de la difracción del oleaje, pero no permiten la salida hacia el sur del sedimento terrígeno aportado por el Arroyo Ensenada. En el año en el que se realizó el estudio, la precipitación pluvial de Ensenada era escasa (190 mm anuales), aunque se menciona que durante el período de lluvia a finales de 1966 y principios de 1967, donde hubo una precipitación de 89 mm, la dársena del puerto tuvo un aporte de más de  $31,000 \text{ m}^3$  de sedimentos, que se consideró como una amenaza para la estabilidad del calado del puerto. Posteriormente, fue realizado otro estudio en la zona por Lizárraga (1976) donde se encontró que el transporte litoral en la playa al sur del Puerto de Ensenada, se efectuaba de sur a norte, y que aunado al aporte del Arroyo de Ensenada, la línea de playa estaba avanzando hacia el mar y recomienda que deben considerarse las condiciones de depósito en el puerto para cualquier otra de protección al mismo.

## DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

La Bahía de Todos Santos, B. C., se localiza en el extremo NW de la Península de Baja California, entre los  $31^{\circ}43'$  y  $31^{\circ}54'$  de Latitud Norte y los  $116^{\circ}36'$  y  $116^{\circ}49'$  de Longitud Oeste. La bahía está delimitada por salientes rocosas: al norte Punta San Miguel y al sur la Península de Punta Banda. Al oeste está delimitada por las Islas de Todos Santos y el Océano Pacífico y al Este por el Valle de Ensenada, Valle de Maneadero y el Estero de Punta Banda (Fig. 1).

El Puerto de Ensenada se localiza en la parte NE de la Bahía de Todos Santos. Tiene un área aproximada de  $1.3 \text{ km}^2$  y está protegido por un rompeolas construido de enrocamiento con una longitud de 100 m aproximadamente en dirección SE a partir de Punta Ensenada. El Puerto de Ensenada ofrece facilidades portuarias a buques de carga, pesqueros y yates deportivos (Secretaría de Marina, 1974) (Fig. 2).

## METODOLOGIA

El método utilizado en este trabajo aplica los conceptos del análisis hipsométrico propuesto por Strahler (1952). El análisis parte de considerar a una cuenca de drenaje como un cuerpo geométrico de referencia con sus lados bien delimitados, que son las proyecciones verticales del perímetro de la cuenca, y por dos planos paralelos que pasan uno por el punto más alto y otro por el más bajo respectivamente (Fig. 3).

ANALISIS HIPSOMETRICO DEL PUERTO DE ENSENADA

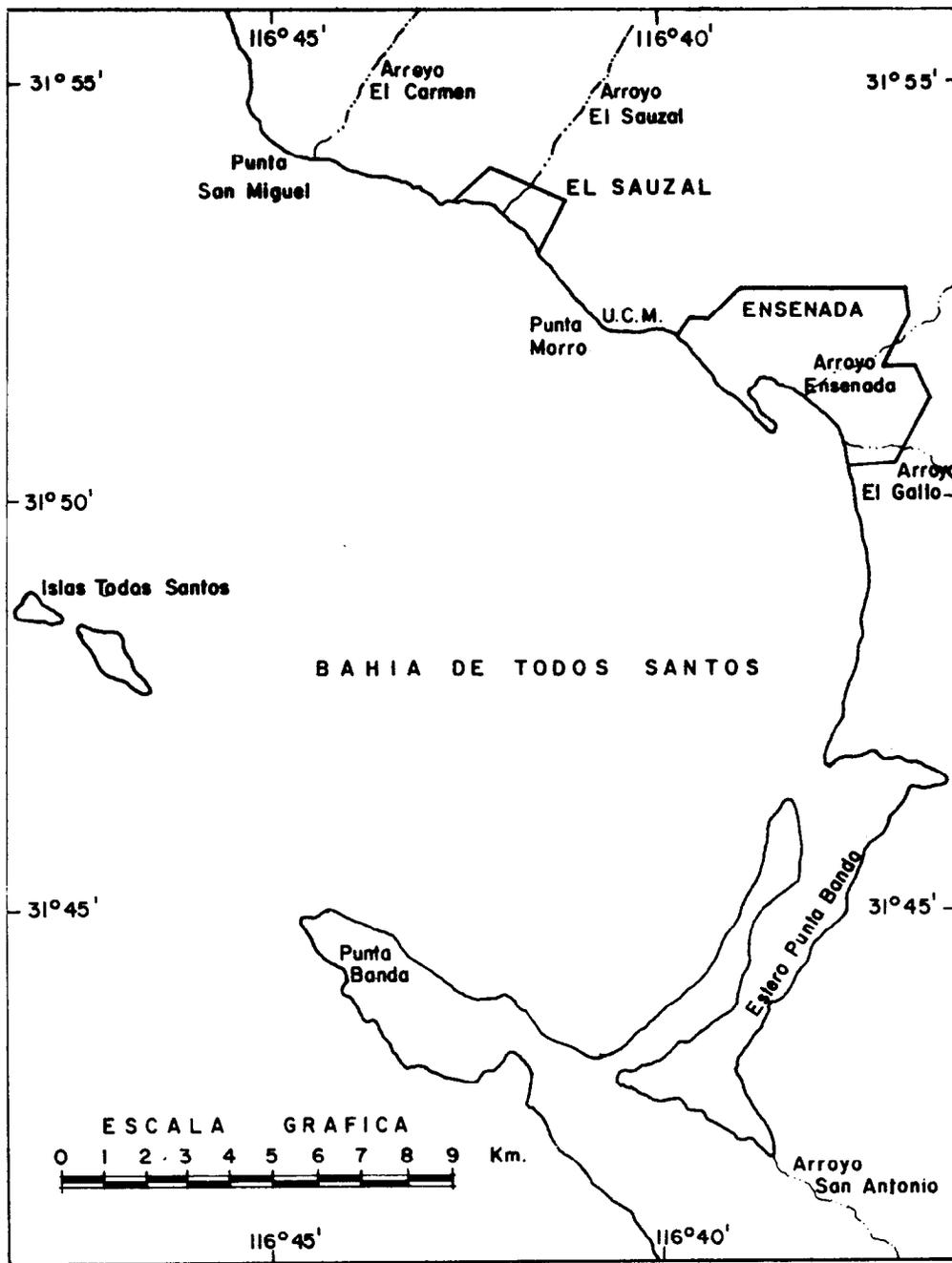


Fig. 1 Localización del Area de Estudio.  
(Tomado de González, 1981).

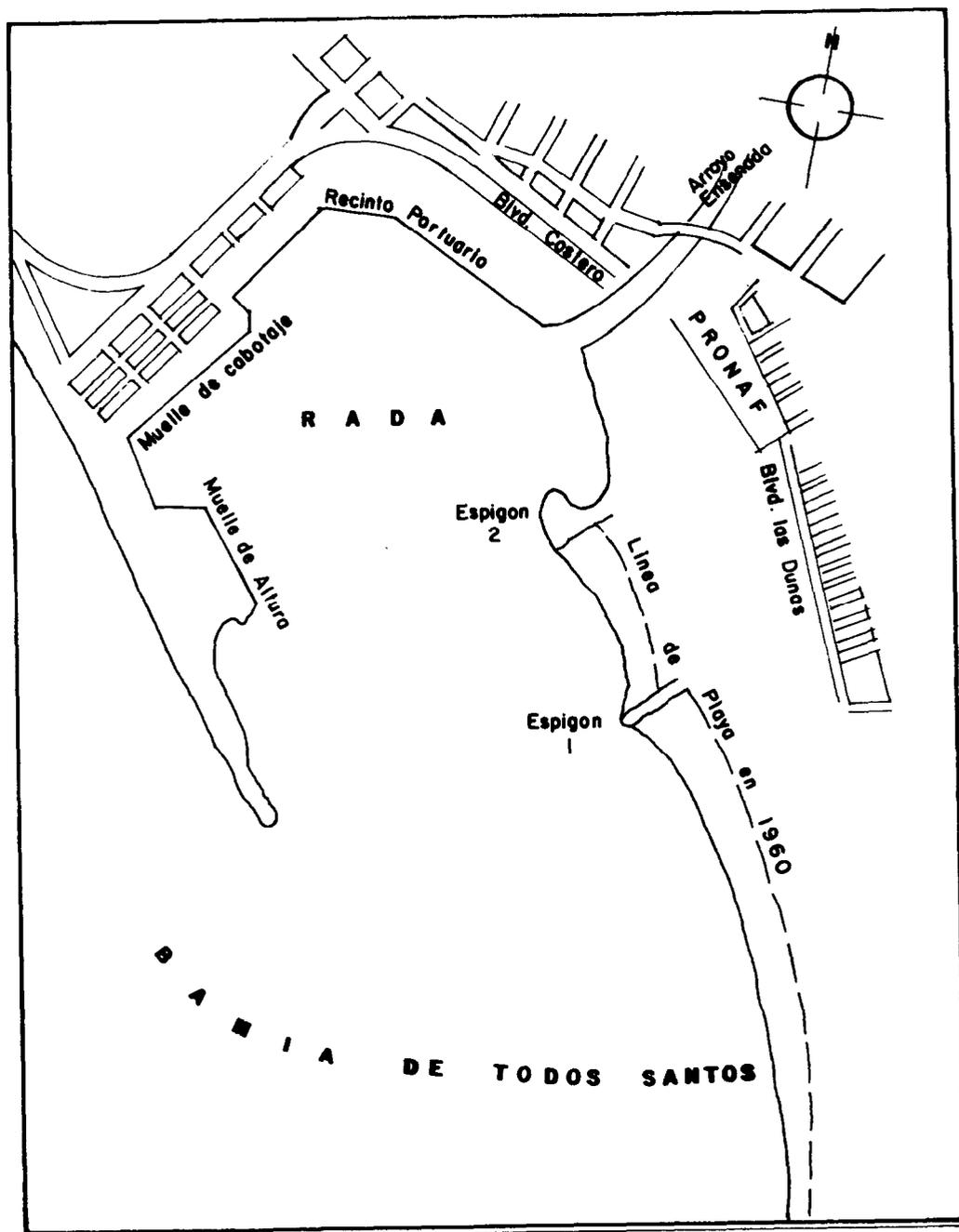


Fig. 2 Plano que muestra la rada portuaria con los espigones de protección.

Para la obtención de las curvas hipsométricas, se involucran dos razones que son: 1)  $X=a/A$ , donde 'a' es el área entre una curva de nivel y el segmento del perímetro superior y 2)  $Y=h/H$ , donde 'h' es la altura de una curva de nivel sobre el plano basal. Los valores de A y de H son constantes: el primero es el área total de la cuenca a partir del plano basal (Fig. 3). Los valores de Y y de X son graficados en un sistema de coordenadas, donde Y es la ordenada y X la abscisa, siendo el rango de valores para ambas razones de 0.0 a 1.0 y el resultado es la curva hipsométrica.

Para obtener los valores de 'a' y de 'A', Strahler mide las áreas con un planímetro, lo cual hace que la obtención de los valores de X para cada curva sea un proceso muy tardado y tedioso. Haan y Johnson (1966), proponen un método sencillo para la obtención de curvas hipsométricas basadas en una técnica de muestreo al azar de las alturas con una cuenca de drenaje; al comparar estadísticamente su método con el de Strahler, encontraron que las curvas obtenidas no fueron diferentes de un modo significativo y en cambio el método demostró reducir el tiempo para obtener la curva en un factor de 4 a 10 veces.

Una vez graficadas las curvas hipsométricas de cada cuenca, el volumen de la misma es obtenido con la integral presentada por Strahler (1952):

$$\frac{V}{AH} = \int_{0.0}^{1.0} X dY \quad \text{donde:}$$

V = volumen total de la cuenca.

H = altura total de la cuenca sobre el plano basal.

A = área total de la cuenca

X =  $a/A$                       Y =  $h/H$

Dicha integral es llamada la integral hipsométrica y es equivalente a la razón de área debajo de la curva hipsométrica con el área de todo el cuadro (Fig. 4). Midiendo el área debajo de la curva con un planímetro se obtiene:

$$\text{Volumen} = (\text{Área debajo de la curva}) (H) (A)$$

Para la aplicación del análisis hipsométrico descrito anteriormente, se consideró a la rada del Puerto de Ensenada como un cuerpo similar al de una cuenca de drenaje, cuya geometría está definida por las características y fronteras naturales, un punto más alto (cota 0 m) y un punto más bajo (canal de navegación, cota -11 m), el cual se tomó como datum de referencia. En la obtención de las curvas por el método de Haan y Johnson (1966), se usó una densidad de 40 puntos en un

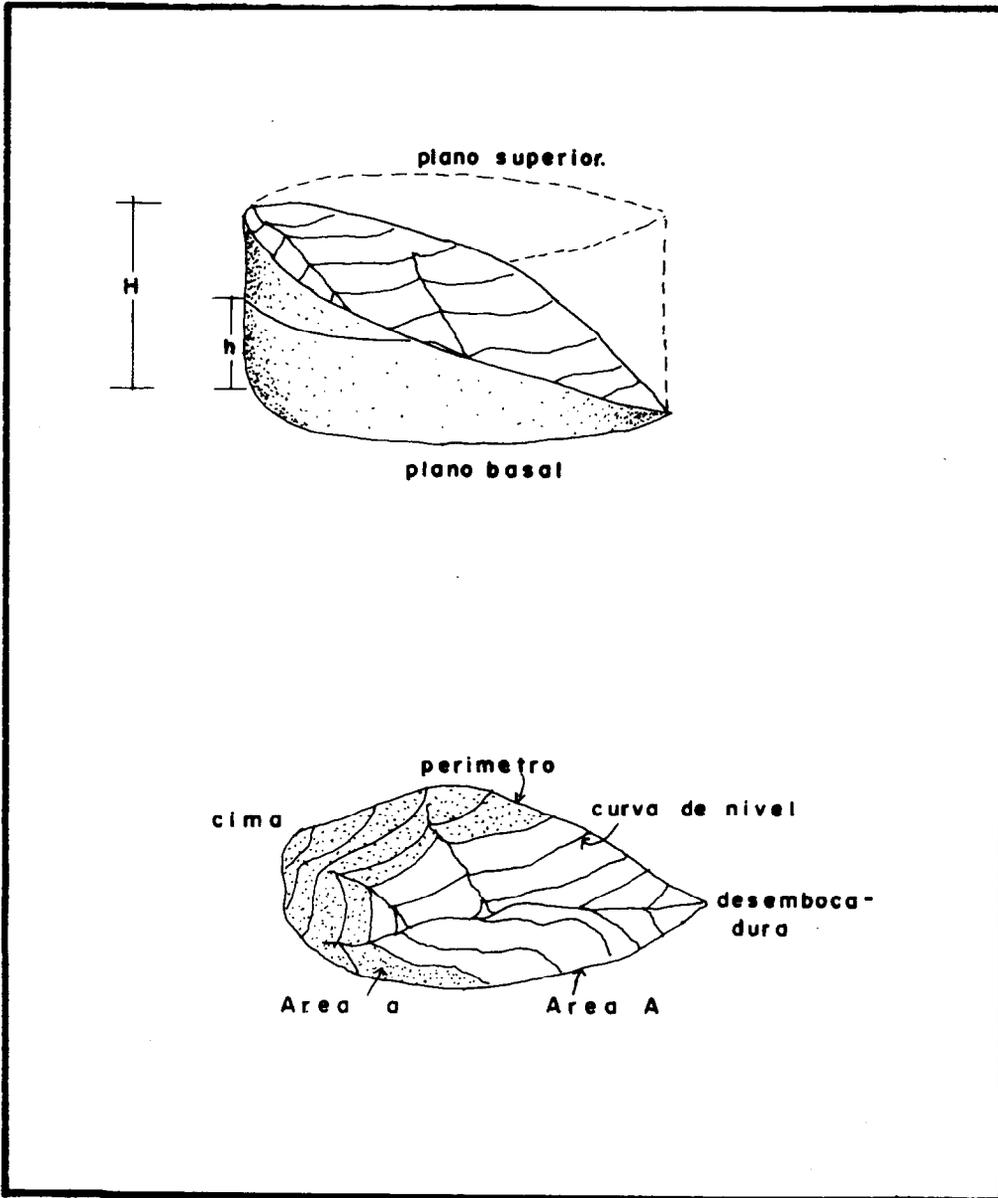


Fig. 3 Cuerpo geométrico de referencia en el análisis hipsométrico. (Tomado de Strahler, 1952).

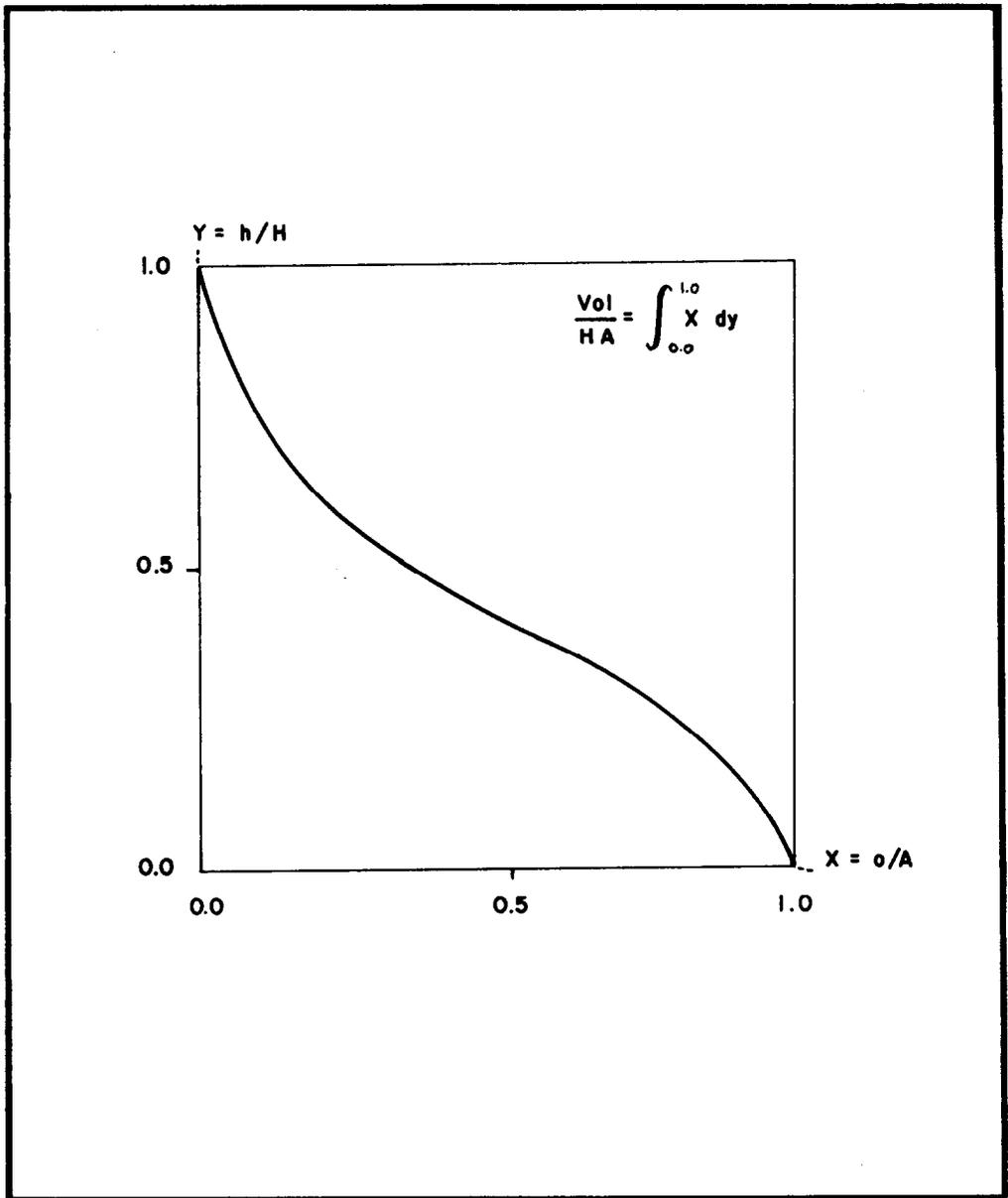


Fig. 4 Integración de la función hipsométrica.

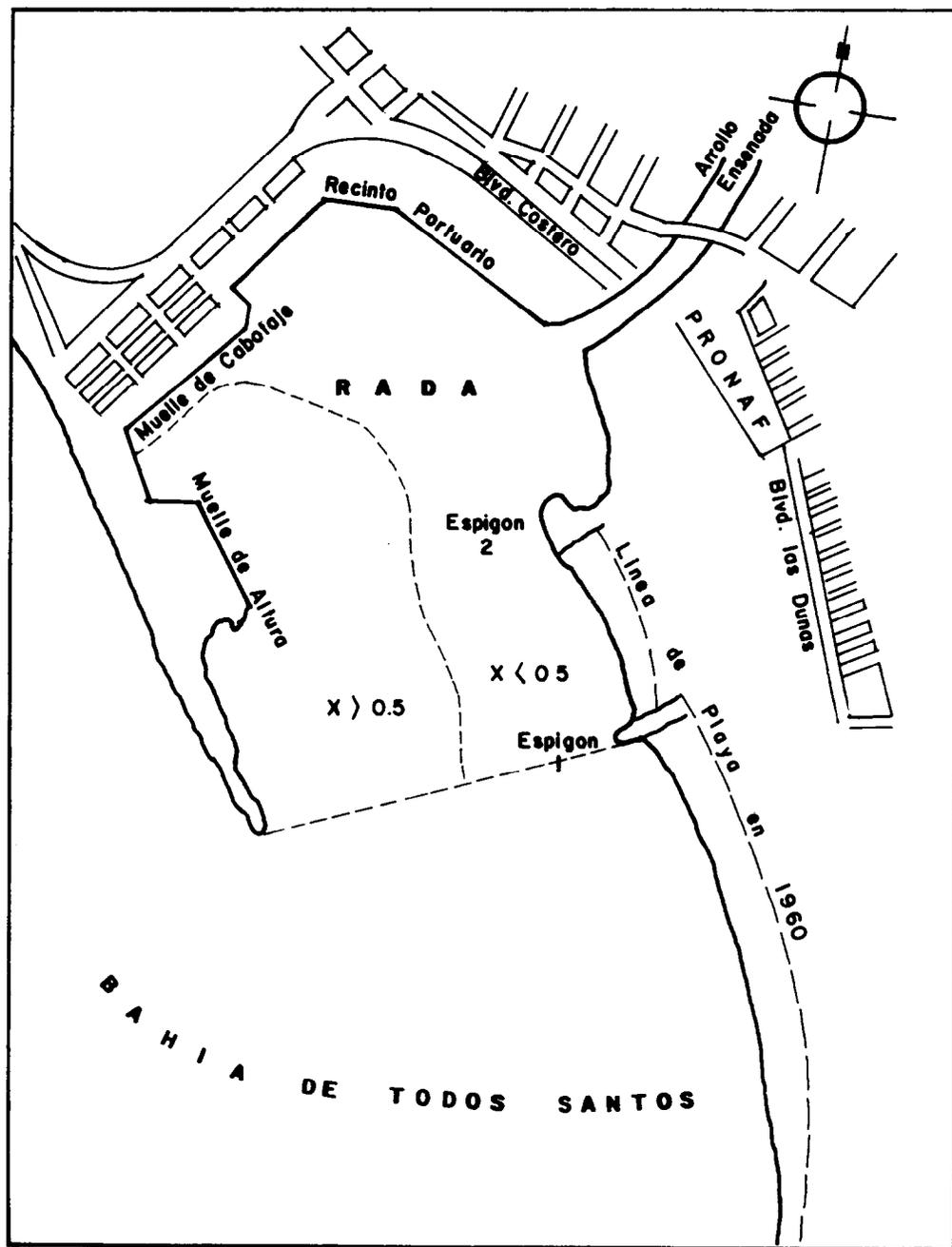


Fig. 5 Plano que muestra las áreas para  $X > 0.5$  y para  $X < 0.5$

ANALISIS HIPSOMETRICO DEL PUERTO DE ENSENADA

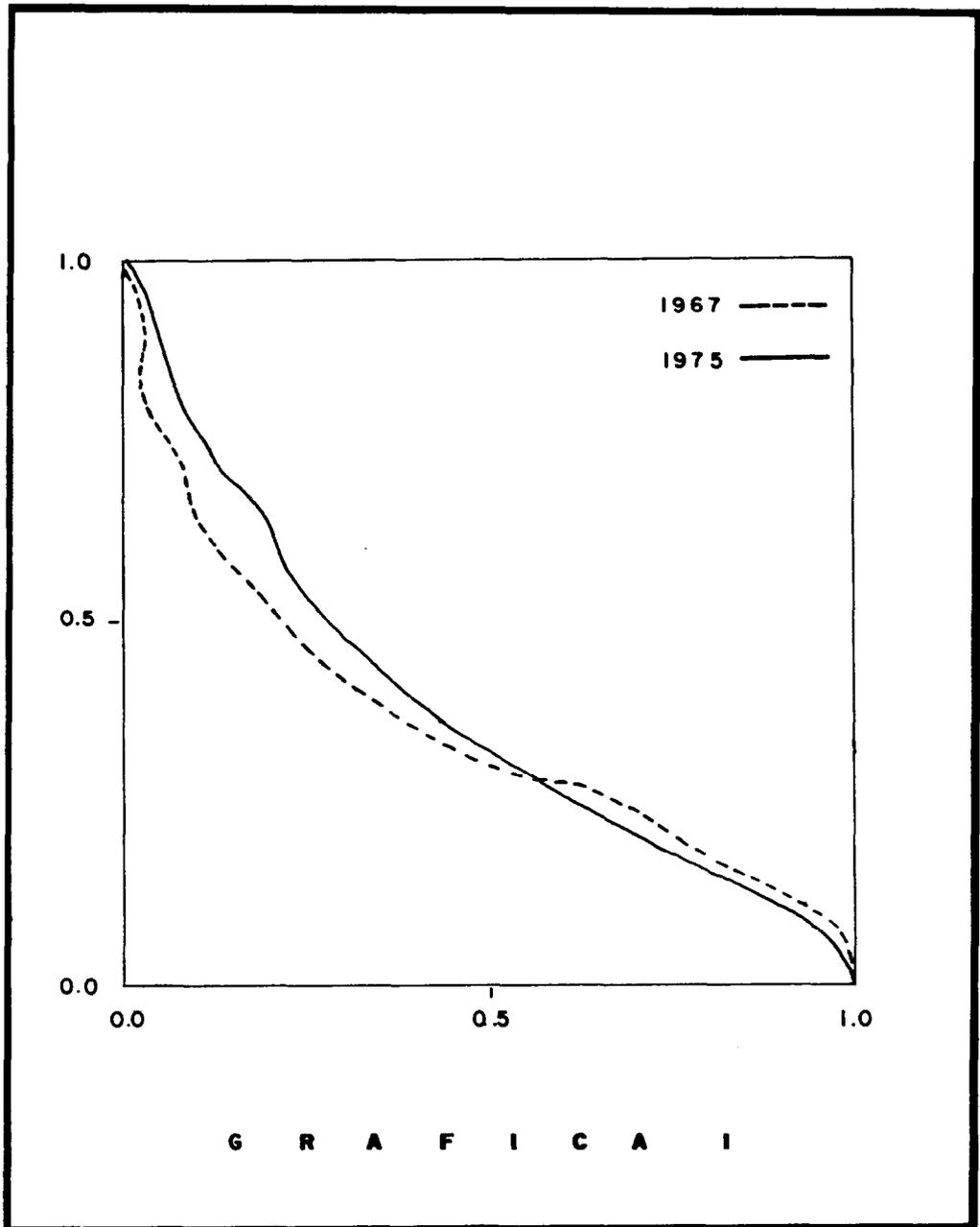


Fig. 6 Curvas hipsométricas de 1967 y 1975.

área de 1.4 km<sup>2</sup> aproximadamente, siendo esta área constante para 1967, 1975, 1978 y 1981. En cada uno de los puntos mencionados se calcularon los valores de X y Y y con estos valores se obtuvieron las curvas hipsométricas.

En las curvas hipsométricas del Puerto de Ensenada los valores de  $X < 0.5$  representan el área cercana a la cota 0 ó la línea de playa, y los valores de  $X > 0.5$  representan el incremento del área, acercándose a la zona de muelles. Por otro lado, los valores de  $Y > 0.5$  expresan las zonas profundas, y los valores de  $Y < 0.5$  representan la zona somera.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados y el análisis de los mismos, está separado en dos etapas: 1) el intervalo anterior al período de lluvias intensas (1967-1975) y 2) el intervalo posterior al período de lluvias intensas (1975-1978 y 1978-1981).

### 1) Intervalo 1967-1975:

La figura 6 muestra las curvas hipsométricas del Puerto de Ensenada para los años de 1967 y 1975, donde el volumen de sedimentos depositados fué de 315,409 m<sup>3</sup>. Según las estadísticas de lluvia entre 1967 y 1975, los años con mayor precipitación fueron 1967, 1969 y 1973 con 223, 289 y 274 mm respectivamente; esta precipitación se considera de poca influencia en la batimetría del puerto, ya que al analizar las cartas batimétricas se observó que la línea de playa en la desembocadura del arroyo no tuvo un desplazamiento considerable hacia el interior de la rada.

En base a los resultados obtenidos de las curvas hipsométricas de 1967 y 1975, las estadísticas de lluvia en ese intervalo y a los datos presentados por Lizárraga (1976), se considera que el volumen de sedimento depositado en este intervalo es producto de la deriva litoral que viaja de sur a norte en la playa sur del puerto. La depositación ocurrió hacia la zona de playas y en la zona de aguas someras en general, según puede apreciarse en la Figura 6. La zona de muelles y la zona profunda tuvo un poco de erosión, aumentando el área entre los 9 y 11 metros de profundidad.

### 2) Intervalos 1975-1978 y 1978-1981

El ciclo de lluvias intenso comenzó a partir de 1976, por lo que en el intervalo entre 1976-1981, la precipitación pluvial aumentó a 426 mm promedio anual, teniendo sus máximos en 1976, 1978 y 1980, con 413, 677 y 477 mm anuales respectivamente.

La figura 7 muestra las curvas hipsométricas del puerto de Ensenada para

1975 y 1978, siendo el volumen de sedimento depositado para este intervalo de  $296,000 \text{ m}^3$ . Este aumento de volumen ocurrió en la zona profunda y hacia la zona de los muelles, donde para 1978 disminuyó el área entre los 10 y 11 metros de profundidad. El área de las partes someras y de las playas se mantuvo constante. Se considera que el sedimento depositado en este lapso fué producto de la deriva litoral y del aporte de material terrígeno por el Arroyo de Ensenada. La razón por la cual la zona de playas no tuviera un aumento de área evidente, es que los espigones de protección al puerto ya estaban llenos para 1975 y no podían detener el sedimento de la deriva litoral y este material entraba directamente al puerto.

La figura 7 muestra las curvas para 1978 y 1981; como se puede observar, el aumento en el volumen de sedimento depositado es mucho mayor al de los períodos anteriores. Este volumen fue de  $1,242,632 \text{ m}^3$ . La depositación ocurrió en toda el área del puerto, observándose el desplazamiento de la línea de playa hacia el mar. El período de 1978 a 1981 fue en donde la precipitación pluvial tuvo su máximo, y por ello, tanto el Arroyo de Ensenada como el Arroyo el Gallo, que desemboca a 1 km al sur del puerto, aportaron la mayor parte del sedimento depositado en el interior del puerto. La línea de playa frente a la desembocadura del Arroyo Ensenada avanzó hacia el puerto entre 80 y 100 metros aproximadamente.

En la curva hipsométrica de 1981 (Fig. 8) en el área cercana a los muelles se observa que el aumento de volumen con respecto a 1978 no es tan evidente como el que hubo en las playas; esto es debido a que en 1978 hubo un dragado de  $143,000 \text{ m}^3$  de sedimento en la zona de los muelles y del canal de navegación de acuerdo a los datos proporcionados por la Dirección General de Dragado del Puerto, lo que origina que la curva para 1981 tenga el comportamiento anteriormente descrito.

La figura 9 muestra finalmente las curvas hipsométricas de 1967 y 1981, donde se observa que el azolve afecta toda el área del Puerto de Ensenada y aunque se ve más evidente en la zona de playas, al estudiar las cartas batimétricas del puerto y los sitios donde se ha dragado, se deduce que la zona profunda también se ve afectada considerablemente por el azolve. En la primera mitad de 1981 se realizaron más dragados para aumentar la profundidad en los muelles y por las obras de ampliación de los Astilleros Rodríguez, pero los datos de ese dragado no están disponibles.

En la figura 10 se muestran los volúmenes de sedimento depositado en la rada del puerto para cada intervalo y el volumen total entre 1967 y 1981.

### CONCLUSIONES

Caldwell (1950), menciona que los puertos que están localizados en la línea de costa, como es el caso del Puerto de Ensenada, la sedimentación resulta princi-

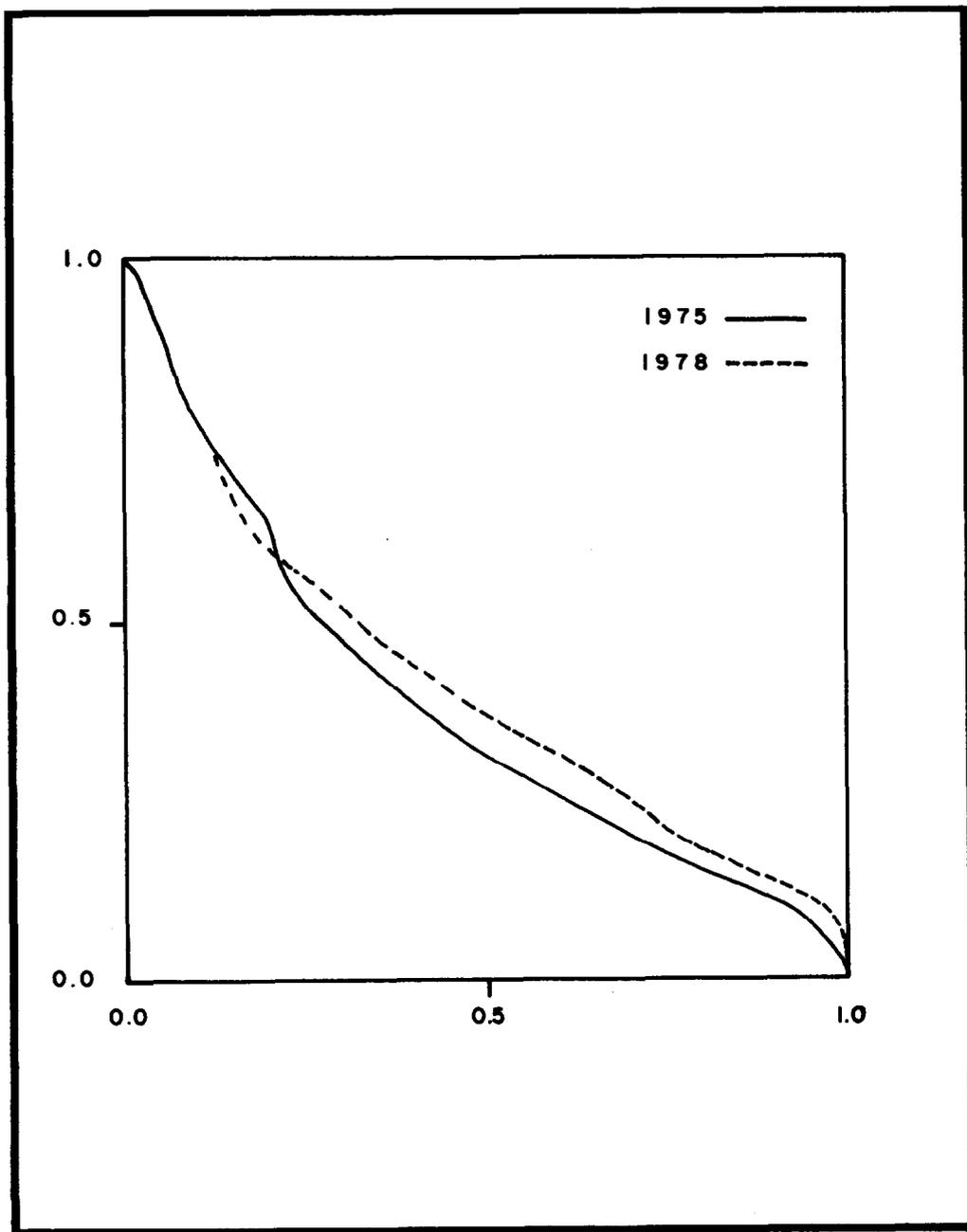


Fig. 7 Curvas hipsométricas de 1975 y 1978.

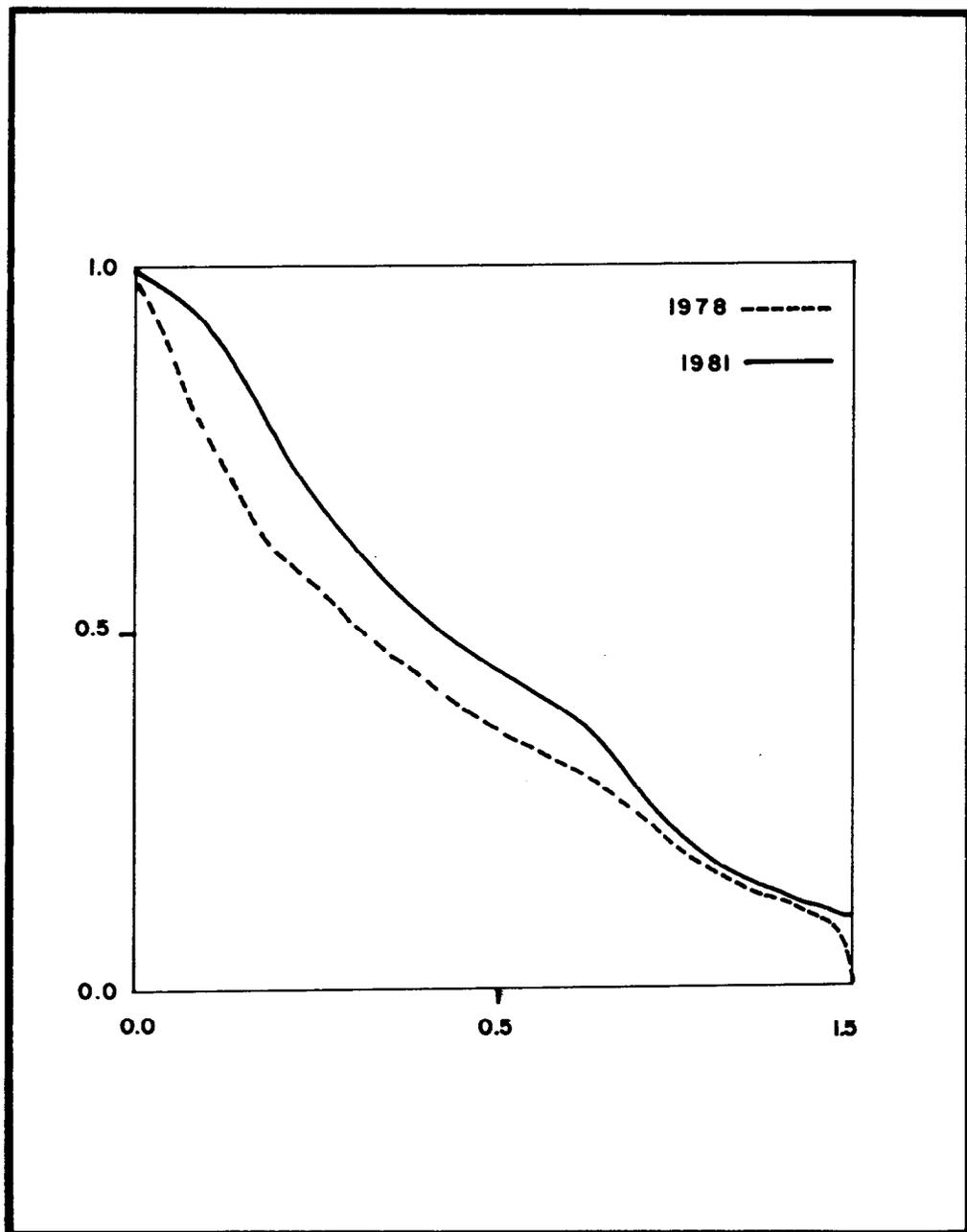


Fig. 8 Curvas hipsométricas de 1978 y 1981.

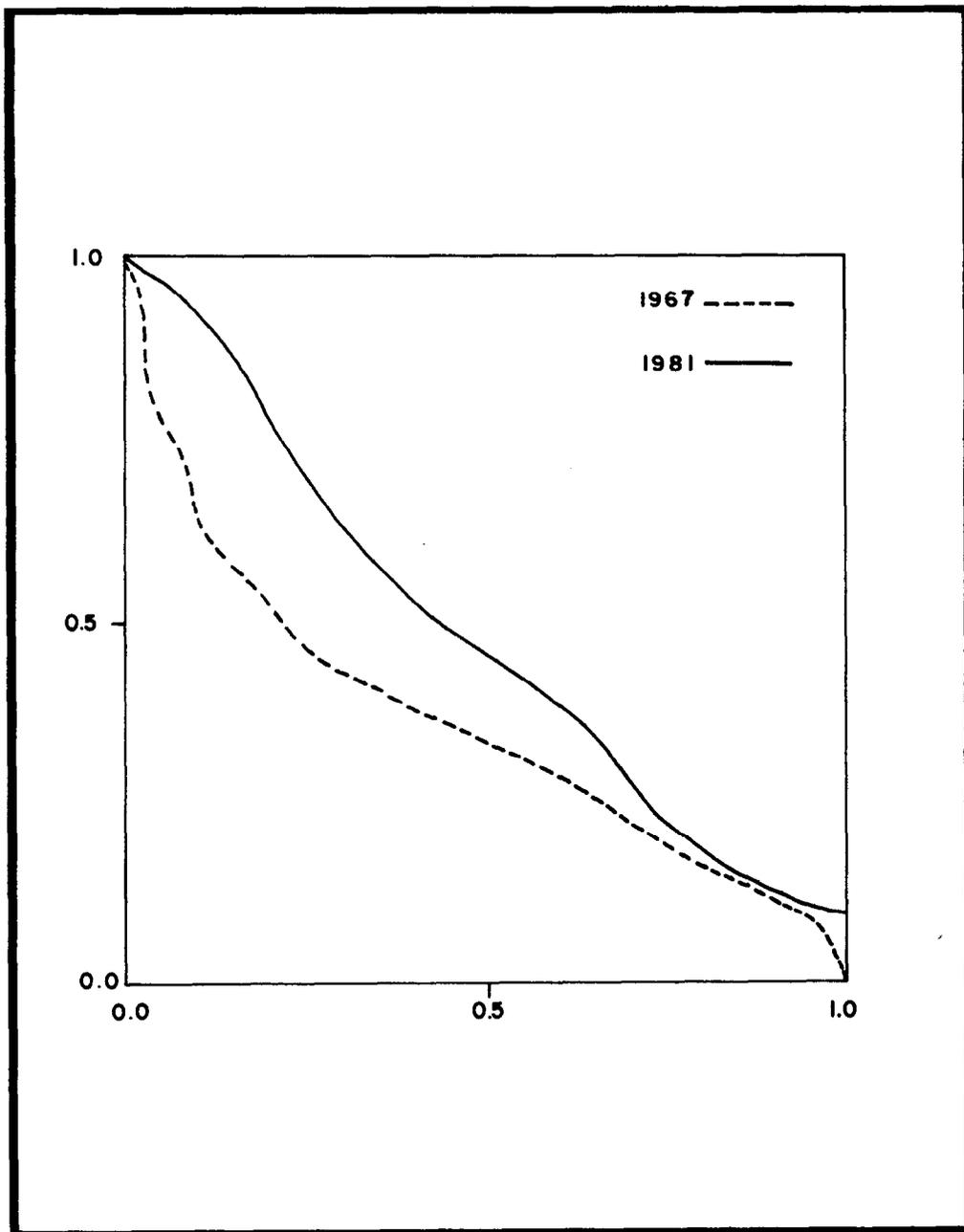


Fig. 9 Curvas hipsométricas de 1967 y 1981.

ANALISIS HIPSOMETRICO DEL PUERTO DE ENSENADA

AÑO	VOLUMEN DE LA CUENCA	BALANCE NETO (Sed. Depositado)
1967	5,210,085 m <sup>3</sup>	
		315,409 m <sup>3</sup>
1975	5,525,494 m <sup>3</sup>	
		296,426 m <sup>3</sup>
1978	5,821,920 m <sup>3</sup>	
		1,242,632 m <sup>3</sup>
1981	7,064,572 m <sup>3</sup>	
BALANCE 1967 - 1981		1,854,487 m <sup>3</sup>
– VOLUMEN DRAGADO 1978		143,000 m <sup>3</sup>
VOLUMEN TOTAL DE SEDIMENTO DEPOSITADO (1967 - 1981)		1,997,487 m <sup>3</sup>

Fig. 10 Tabla donde se muestran los volúmenes de sedimento depositado en el Puerto de Ensenada entre 1967 y 1981.

palmente de la deriva litoral, y que en ocasiones también es producto de material aportado al puerto por arroyos o ríos estacionales que desembocan directamente al puerto. Lizárraga (1976) demostró que existe una corriente a lo largo de la playa entre los espigones de protección, que viajando de sur a norte transporta sedimento al interior del puerto.

Con los resultados obtenidos del análisis hipsométrico del puerto y en base a la bibliografía consultada, se demuestra finalmente que el Puerto de Ensenada se está azolvando a causa del aporte terrígeno por el río de Ensenada y del aporte por la deriva litoral. Este azolve se ha incrementado notablemente a partir de 1975. El total de sedimento depositado en el puerto hasta 1981 fue de 1,997,481 m<sup>3</sup>.

La medida correctiva que se tome al problema deberá ser aplicada tomando en cuenta todos los factores que influyen en el proceso de sedimentación en el interior del puerto. En este caso en particular, puede como solución al problema, realizarse la ampliación de los espigones o la construcción de otros mayores para detener el aporte por la deriva litoral y para solucionar el aporte por el río de Ensenada, pueden construirse una serie de repesos en los tributarios del arroyo que actúen como trampas de sedimento, disminuyendo así la carga del río.

Por último, se demuestra que el análisis hipsométrico resultó muy útil y práctico en la determinación de volúmenes de cuencas deposicionales, como es el Puerto de Ensenada. Cabe señalar, que este método puede profundizar más en el estudio de la cuenca, ya que la forma de la curva hipsométrica puede relacionarse al estado de sedimentación de la cuenca (Boon y Byrne, 1980), es decir, si ha alcanzado el equilibrio al rellenarse con sedimentos, o si por el contrario, todavía está en la etapa de azolvamiento progresivo. El método puede proporcionar información básica para el estudio de las características de cuerpos de agua costeros, como estuarios o esteros y aplicar esta información a problemas relacionados con la oceanografía costera.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos infinitamente la gran ayuda proporcionada por la Secretaría de Marina a través del Ing. René Deveze T. Asimismo, las valiosas sugerencias y discusiones de los colegas Oceanólogos Roberto Pérez y Alfredo Chee. Por último al Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la U.A.B.C. por el apoyo otorgado al primer autor a través del proyecto: "Circulación costera inferida de las características naturales de los sedimentos en la Bahía de Todos Santos, B. C."

LITERATURA CITADA

- BOND, G., 1976. Evidence for Continental Subsidence in North America. During the Late Cretaceous Global Submergence. *Geology*, Vol. 4:557-560.
- 1978a. Evidence for Late Tertiary Uplift of Africa Relative to North America, South America, Australia and Europe. *Jour. of Geol.*, Vol. 86:47-65.
- 1978b. Speculations on Real Sea-Level Changes and Vertical Motions of Continents at Selected Times in the Cretaceous and Tertiary Periods. *Geology*, Vol. 6:24-250.
- BOON, J.D. and R.J. Byrne, 1980. On Basin Hypsometry and the Morphodynamic response of Coastal Inlet Systems. *Marine Geology*, Vol. 40:27-48.
- CALDWELL, J.M., 1950. Sedimentation in Harbors. En: *Applied Sedimentation*, Trask, P.D. Editor. John Wiley & Sons, New York, 707 p.
- FORNEY, G.G., 1975. Permo-Triassic Sea Level Change. *Journal of Geology*. Vol. 83:778-779.
- HAAN, C.T. and H.P. Johnson, 1966. Rapid Determination of Hypsometric Curves. *Geol. Soc. of Amer. Bull.*, Vol. 77:125-126.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLOGICAS (IIO), UABC, 1967. Estudio Oceanológico de la Bahía de Todos Santos, B.C., Parte I (no publicado).
- JOHNSON, J. W., 1970. Seasonal Bottom Changes in Bolinas Bay. *Calif. Proc. 12 th Coast. Eng. Conf.*, Vol. 2:1383.
- LIZARRAGA-ARCINIEGA, J.R., 1976. Variaciones Estacionales de la Playa en la Bahía de Todos Santos, Baja California. *Ciencias Marinas*, Vol. 3(1):30-50.
- MAGGON, O.T., 1978. Maintenance of Santa Cruz Harbor, California. U.S.A., *Proc. 16th Coast. Eng. Conf.*, Vol. 2:1276-1281.
- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS (SARH), 1981. Estadísticas de Precipitación Pluvial en la Estación No. 16, Ensenada, B.C., México. Publicado por la División Hidrométrica de Ensenada, B.C.
- SECRETARIA DE MARINA. 1952. Planeación del Puerto de Ensenada, Baja California, México. (No publicado).
- 1974. Estudio Geográfico de la Región de Ensenada, B.C. Publicado por la Dirección General de Señalamiento Marítimo, México, D.F.
- STRAHLER, A.N., 1952. Hypsometric (area-altitude) Analysis of Erosional Topography *Geol. Soc. of Amer. Bull.*, Vol. 63:1117-1142.