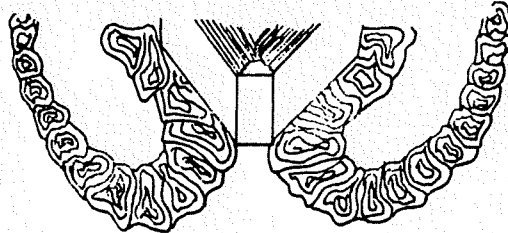


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

Escuela Superior de Ciencias Marinas



ANALISIS HIPSOMETRICO DE LA RADA DEL
PUERTO DE ENSENADA, B.C.



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

OCEANOLOGO

PRESENTA

LORENZO GOMEZ-MORIN FUENTES

ENSENADA, B.C.

1981

DEDICATORIA...

A mis padres, por haberme querido y apoyado
toda mi vida.

A mis hermanos: Mauricio, Concepción y Gui-
llermo, Alejandra y Agueda.

A Maru, para quién serán los frutos de mi
trabajo.

A mi querido y RESPETADO MAESTRO
CON MUCHO AGRADECIMIENTO.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'González', written in a cursive style.

A la memoria de mis Abuelos:

Don Manuel y Doña Lidia

Don Lorenzo y Doña Delfina

AGRADECIMIENTOS:

Al Maestro en Ciencias Román Lizárraga Arciniega, por sus consejos y apoyo durante la dirección de este trabajo.

Al Ing. René Deveze Torres, por haberme proporcionado información básica para la realización de este trabajo.

A mis maestros y amigos: Roberto Pérez Higuera, Adolfo González Calvillo, Alfredo Chee Barragán, por sus acertadas críticas y la ayuda brindada durante el desarrollo de este trabajo.

A mis sinodales: M.C. Francisco Suárez Vidal, Ocean. Alfredo Chee Barragán, Ing. César Obregón M-Sanz, Ing. Jorge Ledesma V., Ocean. Miguel López Alvarez, e Ing. Eduardo Rosales Contreras.

Al Ocean. Raymundo Lecuanda Camacho, por haberme dado probablemente sin quererlo, la idea de este trabajo.

I N D I C E

I.- INTRODUCCION:	1
1.1. Antecedentes	4
1.1.1. Generales	4
1.1.2. Particulares	5
1.2. Objetivo	7
1.3. Hipótesis	7
1.4. Localización del área de estudio	8
II.- MATERIALES Y METODOS:	
2.1. Materiales.	11
2.2. Métodos	11
III.- RESULTADOS:	16
IV.- DISCUSIONES:	22
V.- CONCLUSIONES:	25
VI.- RECOMENDACIONES	28
VII.- BIBLIOGRAFIA:	29

ANÁLISIS HIPSOMÉTRICO DE LA RADA DEL

PUERTO DE ENSENADA, B.C.

I.- INTRODUCCION:

En la actualidad cerca de las dos terceras partes de la población mundial viven dentro de la zona costera, pudiéndose apreciar el crecimiento de muchos complejos urbanos, industriales y recreativos que ocupan gran parte de la margen costera, principalmente en los países desarrollados. Es por eso que los profesionistas relacionados con el mar, como son los Geólogos, Ecólogos, Oceanólogos o Ingenieros, necesitan de un conocimiento amplio de los procesos que se llevan a cabo en el litoral.

En el caso de los estudios relacionados con Ingeniería Costera, por ejemplo, cuando se planea la construcción de un Puerto, siempre se evalúa la deriva litoral de sedimento para poder establecer la razón de acreción (depositación) o erosión de material en la zona de estudio. Cuando se habla de erosión o de depositación en la zona litoral esto significa que el volumen total de sedimento añadido a una playa proveniente de varias fuentes (ríos, acantilados, etc.), puede ser equilibrado con el total de sedimento sustraído por diferentes medios, como corrientes, cañones submarinos, etc. (Komar, 1976). Si las pérdidas de material son mayores que las ganancias habrá un déficit neto que se reflejará en un decremento del volumen total de sedimentos en la playa o en la zona litoral, es decir, habrá erosión. De modo contrario, si las ganancias sobrepasan a las pérdidas habrá depositación. La ausencia de erosión o depositación indica un estado de equilibrio existente entre

las ganancias y las pérdidas de material.

Los estudios de problemas de azolve en puertos han sido realizados frecuentemente en los Estados Unidos de Norteamérica por el U.S. Army Coastal Engineering Research Center - (USACERC), Magoon (1978), Johnson (1970) y Caldwell (1950) entre otros, y en Japón por Sato e Irie (1979). En este tipo de estudios se hace ver la necesidad de cuantificar con la máxima precisión posible el volumen de sedimento que es depositado o erosionado en el puerto para evaluar el impacto económico debido al azolvamiento del canal de navegación y del puerto en general, y con ello establecer medidas de prevención al problema. Las causas y la magnitud del azolvamiento en los diferentes tipos de puertos puede variar y las soluciones correspondientes a cada uno, que en algunas ocasiones han tenido éxito y en otras no, siempre han sido muy costosas.

Uno de los métodos que hacen posible la cuantificación del volumen de sedimento depositado o erosionado en un puerto, se basa en la comparación del volumen de sedimentos en el puerto al paso del tiempo. Esta comparación de volúmenes se logra al aplicar los mismos conceptos establecidos por Strahler (1952), quien define el Análisis Hipsométrico de la siguiente forma:

" Es el estudio de la distribución de área superficial de un cuerpo de tierra, con respecto a una elevación dada..."

La distribución de área con respecto a las elevaciones de una cuenca de drenaje, da como resultado una curva hipsométrica, de la cual Strahler (po. cit.) obtiene el volumen de dicha

cuenca. Al aplicar la metodología de Strahler en una cuenca de depositación como puede ser una laguna costera o un puerto, se puede obtener el volúmen de sedimentos de dicha cuenca y las variaciones del volúmen al paso del tiempo mostrará si hay depositación o erosión y si estos procesos ocurren en las zonas profundas o en las zonas someras.

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 Río de Ensenada volvió a tener un caudal muy grande después de haber estado seco por muchos años, aportando gran cantidad de sedimentos a la dársena del Puerto de Ensenada pese a que existe la presa Ing. Emilio Lopez Zamora. Este aporte hizo que la línea de playa tuviera un avance hacia el mar, algo que no era tan evidente cuatro años atrás. El desplazamiento de la línea de costa es una prueba del problema de azolve que puede afectar la conservación del calado del Puerto.

1.1.- Antecedentes

1.1.1.- Generales

La metodología que fue utilizada en este trabajo se basa principalmente en la elaboración de curvas hipsométricas de la batimetría del Puerto de Ensenada, B.C.

La curva hipsométrica en su definición mas general como la representación de la distribución estadística de elevaciones y profundidades en el mundo entero, fue desarrollada en el siglo pasado por varios autores pero la curva moderna está basada en las estadísticas de Kossina en 1921 (ver Lagrula, 1968), donde este autor utiliza la curva como herramienta para interpretar los procesos isostáticos que ocurren en la tierra.

Estudios posteriores donde se utiliza la curva hipsométrica fueron realizados por Thompson (1941), quien aplica la curva para describir los procesos geomorfológicos de tres cuadrantes en las montañas Apalaches.

Algunos años después fue propuesto el Análisis Hipsométrico por Strahler (1952) y lo aplica para determinar el estado de desarrollo geológico de cuencas de drenaje y además plantea otras aplicaciones prácticas del análisis hipsométrico, entre ellas, estudios de sedimentación, los cuales fueron llevados a cabo por Moody (1967), quien estudió la provincia distributiva del Golfo de México, aplicando los conceptos de la curva hipsométrica.

En años recientes el análisis hipsométrico ha sido aplicado en Paleocceanografía por Mennard y Smith (1966), Forney (1975), Bond (1976) y Bond (1978a, 1978b), entre otros, donde por medio de curvas hipsométricas infieren la magnitud de los

cambios en el nivel del mar que produjeron transgresiones importantes en períodos antiguos. Además aplican también este tipo de análisis para describir los movimientos verticales entre continentes y relacionarlos a tectónica de placas.

1.1.2. Particulares

La construcción del Puerto de Ensenada se inició a partir de 1951 y en los primeros estudios que se hicieron se determinó que el transporte litoral de sedimentos en la zona era nulo, y que por ello las condiciones eran de equilibrio, (Sec. de Mar., 1952).

El Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) de la Universidad Autónoma de Baja California (1967), llevo a cabo un estudio oceanológico en la Bahía Todos Santos, B.C. donde se investigó, entre otros aspectos, las corrientes litorales y el aporte de sedimentos al mar por los ríos de Ensenada y El Gallo. Se encontró por medio de análisis sedimentológicos que había una acción combinada de transporte, depositación y erosión hacia el SE y SW de la Bahía, como producto de la deriva litoral de sedimentos. Por otro lado se determinó que la construcción del rompeolas del Puerto produjo un aumento de la sedimentación en las zonas sur de los espigones de protección de la playa adyacente al Puerto. Como hace notar el reporte, los espigones de protección encuentran su misión de 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 Río de Ensenada. Cabe señalar que en 1967 todavía no se construía la presa Ing. Emi-

lio López Zamora que existe actualmente. Dentro de este estudio se considera que el aporte del río de Ensenada era de reducida influencia para la conservación del calado del Puerto debido a la escasa precipitación pluvial en 1966, (190 mm), aunque se menciona posteriormente que durante el mes de diciembre de 1966 y enero de 1967 hubo una precipitación pluvial de 81 mm que debido a ello la dársena del Puerto tuvo un aporte de mas de 31,000 m³ de sedimentos, que se consideró como una amenaza para la estabilidad del Puerto.

Otro estudio en la zona fué realizado por Lizárraga Arciniega (1972) donde encontró que el transporte litoral en la playa adyacente al sur del Puerto de Ensenada se efectuaba de sur a norte y que aunado al aporte del río de Ensenada la línea de playa estaba avanzando hacia el mar. Esto quedó demostrado al comparar la cota cero de 1960, 1961 y 1971 donde se ve evidente el avance de la línea de playa de 1971 con respecto a las dos anteriores; además encontró que el transporte de sedimentos en la playa fue de 420,000 m en 10 años. Finalmente recomienda que deben considerarse las condiciones de deposición que prevalecen en el Puerto para cualquier construcción de protección al mismo.

1.2.- Objetivo.

El presente trabajo tiene como objetivo calcular el volúmen de sedimentos depositados en la rada del Puerto de Ensenada, B.C. entre 1967 y 1981 e inferir la posible causa de esta depositación.

1.3.- Hipótesis.

En base a lo anterior se considera que es posible cuantificar el volúmen de sedimento depositado en la rada del Puerto de Ensenada por medio del análisis hipsométrico, partiendo de que el aporte a la rada es positivo y no ha habido pérdidas significativas, es decir, existe depositación.

1.4.- Descripción del área de estudio.

La Bahía de Todos Santos, B.C. se localiza entre los 31°43' y 31°54' de latitud norte y entre los 116°36' y 116°49' de longitud oeste. La Bahía está perfectamente delimitada por salientes costeros rocosos: al norte Punta San Miguel, y al sur la Península de Punta Banda. Al oeste por las islas de Todos Santos, (Lizárraga 1972).

La Bahía de Ensenada es un puerto de aguas profundas y se localiza en la parte NE de la Bahía de Todos Santos. Tiene un área aproximada de 1.3 K m y está protegida por un rompeolas construido de enrocamiento con una longitud de 1,200 m. aproximadamente en dirección SE a partir de Punta Ensenada. El Puerto de Ensenada ofrece facilidades portuarias a buques de carga, pesqueros, yates deportivos. (Sec. de Mar., 1974). ver fig. 1 y 2.

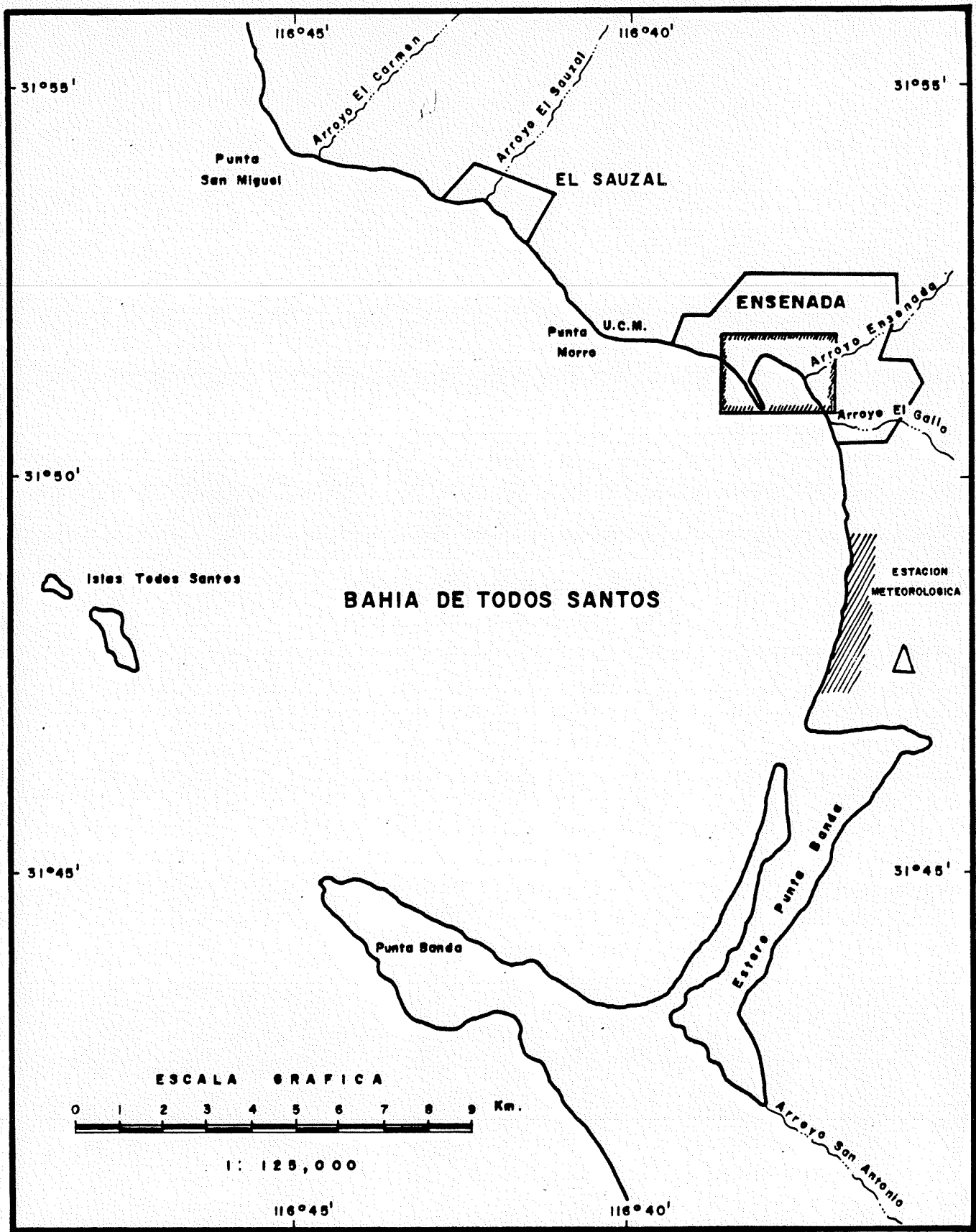


Fig. 1 - LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO Y ESTACION METEOROLOGICA .

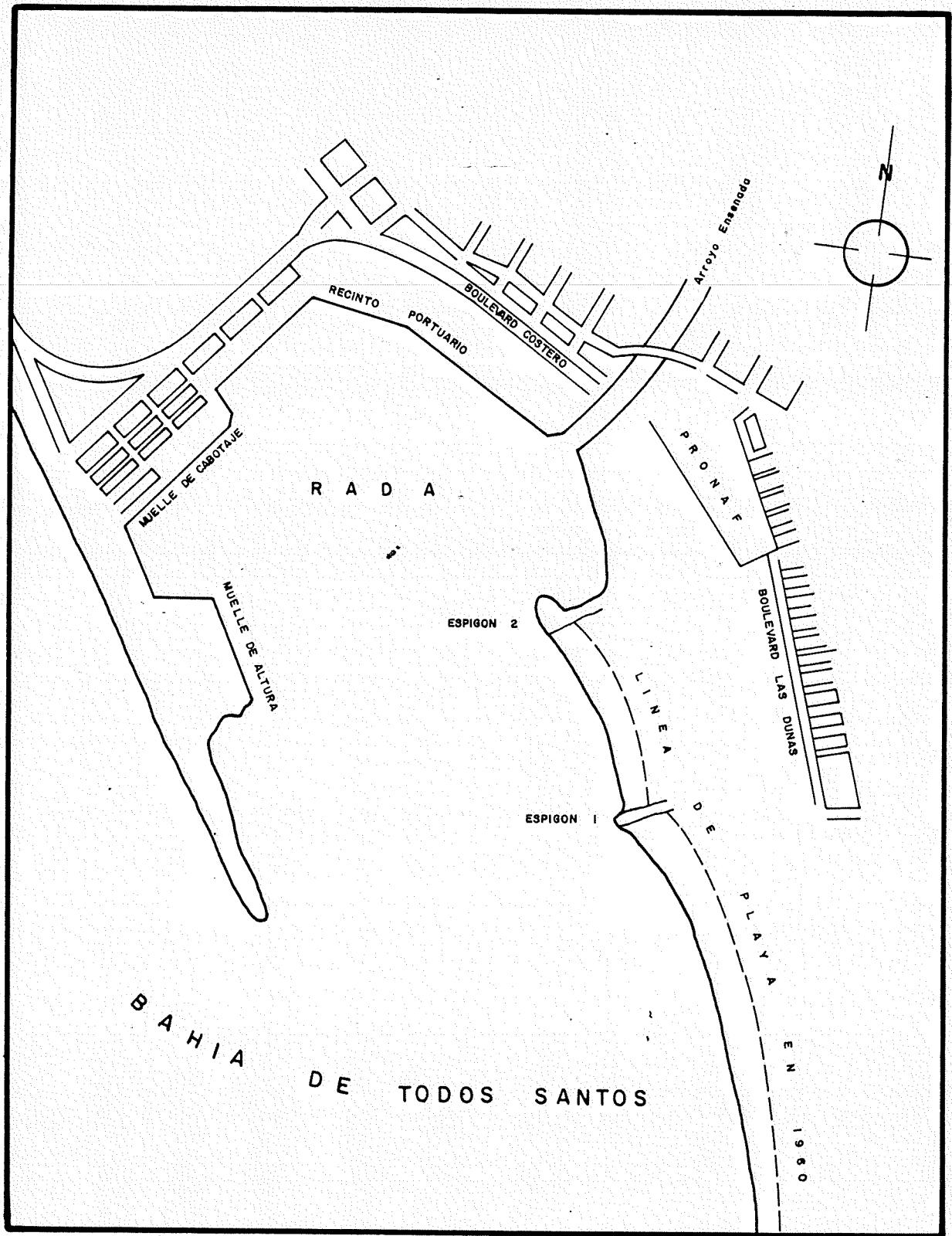


Fig. 2 : PLANO QUE MUESTRA LA RADA PORTUARIA CON LOS ESPIGONES 1 Y 2 . NOTESE EL AVANCE DE LA LINEA DE PLAYA .

II MATERIALES Y METODOS.

2.1.- Materiales.

- Planímetro polar "Salmoraghi"
- Cartas batimétricas del Puerto de Ensenada, B.C. realizadas por la Secretaría de Marina. Escala: 1:2000. , años 1967, 1975, 1978,1981.
- Estadística de precipitación pluvial de la estación no.16,Ensenada B.C. de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, para los años 1967 a dic, 1980.

2.2- Métodos.

El análisis hipsométrico propuesto por Strahler (1952) ha sido utilizado para obtener información hidrológica de cuencas de drenaje y como ya se mencionó anteriormente, plantea su aplicación a otros campos, como estudios de sedimentación. El método utilizado en el presente trabajo se basa en los conceptos del análisis hipsométrico bajo ciertas consideraciones, que se irán mencionando mas adelante.

El análisis hipsométrico 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 mas alto y otro por el mas bajo respectivamente,

(ver fig. 3.). Se ha considerado la rada del Puerto de Enseñada como un cuerpo similar al de una cuenca de drenaje, con un perímetro que le sirve de frontera, un punto mas alto (cota 0) y un punto mas bajo (Canal de entrada).

Para la obtención de las curvas hipsométricas Strahler(1952) involucra 2 razones:

1) La razón $X=a/A$, donde:

a =Area entre una curva de nivel y el segmento del perímetro superior.

A = Area total de la cuenca.

2) La razón $Y=h/H$ donde:

h = Altura de una curva de nivel sobre el plano basal.

H = Altura total de la cuenca.

Los valores de X y de Y obtenidos son graficados en un sistema de coordenadas, siendo X la abscisa y Y la ordenada. Los valores para ambas razones van de 0.0 a 1.0 el resultado es una curva hipsométrica. (fig. 4).

Para obtener los valores de a y A Strahler (1952) 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 obtención de curvas hipsométricas basado en una técnica de muestreo al azar y los pasos que siguen son los siguientes:

- 1.- Seleccionar un número de puntos al azar dentro y en el perímetro de la cuenca.
- 2.- Tabular los puntos que caen dentro de intervalos de clase pre-determinados.
- 3.- Calcular el porcentaje de puntos que caen dentro de los intervalos de clase.

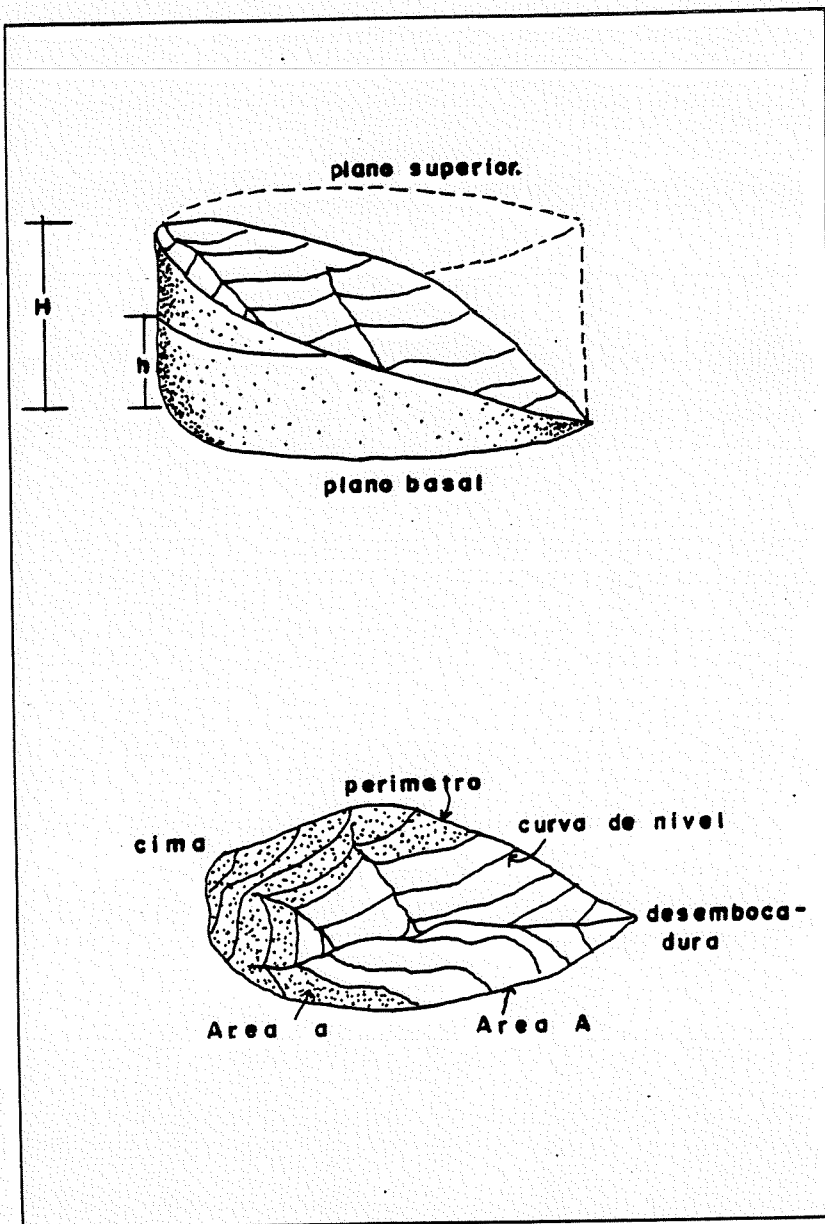


FIGURA 3. CUERPO GEOMETRICO DE REFERENCIA EN EL ANALISIS HIPSONOMETRICO.
(Tomado de Strahler, 1952)

- 4.- Calcular el porcentaje acumulativo de los puntos comenzando con cero en el intervalo superior y continuando hasta el 100% en el intervalo inferior.
- 5.- Graficar el porcentaje acumulado como la abscisa contra la razón de altura como ordenada.
- 6.- Convertir la abscisa a una razón dividiendo los porcentajes entre 100.

Haan y Johnson (1966) aplicaron su método a cuencas entre 1.6 y 16 km, con una densidad de 30 puntos por cada 1.6 km y comparado con el método convencional de Strahler (1952) 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 menos.

Por razones prácticas el método anteriormente descrito fue el que se utilizó en el presente trabajo, con una densidad de 40 puntos en un área de 1.4 km aproximadamente; esta área es la del Puerto de Ensenada en 1967 y se trabajó manteniéndola constante en los planos de 1975, 1978, y 1981. Los puntos al azar fueron obtenidos con una calculadora programable Texas Instrument TI-59.

Una vez graficadas las curvas hipsométricas de cada carta batimétrica, el volumen de la cuenca fué 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 (o profundidad) total de la cuenca

A= Area total de la cuenca

$$X = a/A \quad \text{y} \quad Y = h/H$$

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. 5). Midiendo el área debajo de la curva con un planímetro, el volúmen se obtiene:

$$\text{Volúmen} = (\text{Area debajo de la curva})(H)(A)$$

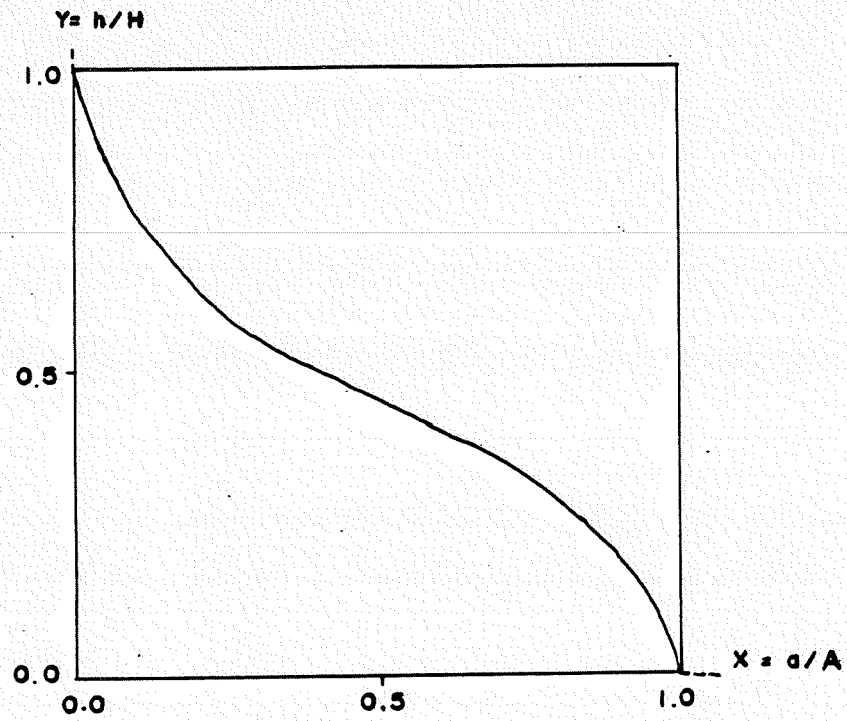


FIGURA 4. LA CURVA HIPSONOMETRICA

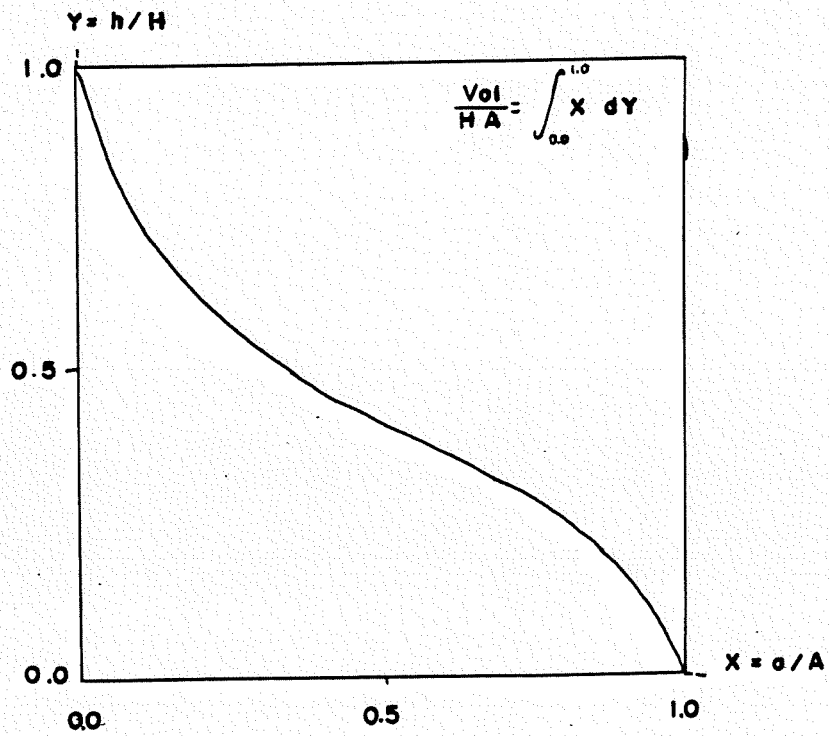


FIGURA 5. INTEGRACION DE LA FUNCION
HIPSONOMETRICA

III. RESULTADOS.-

La tabla no. 1 muestra los volúmenes de la cuenca deposicional y las diferencias de volúmen entre 1967, 1975, 1978, y 1981 respectivamente asimismo muestra el balance entre 1967 y 1981, el volúmen de sedimento dragado en julio y agosto de 1978 concluyendo con el volúmen total de sedimento, depositado en el Puerto entre 1967 y 1981.

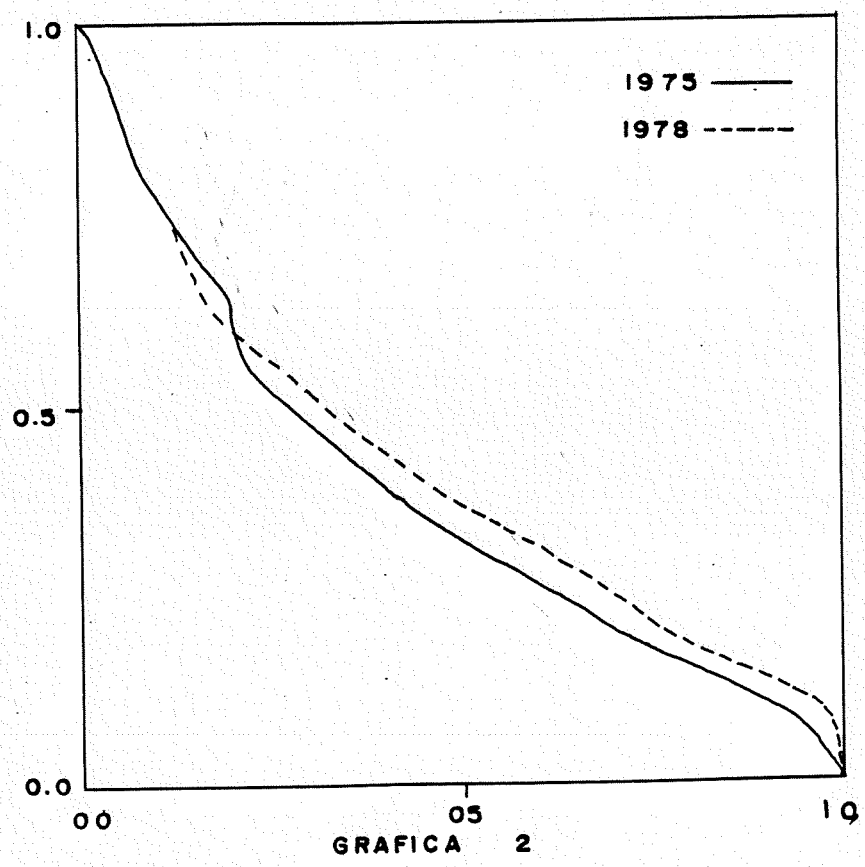
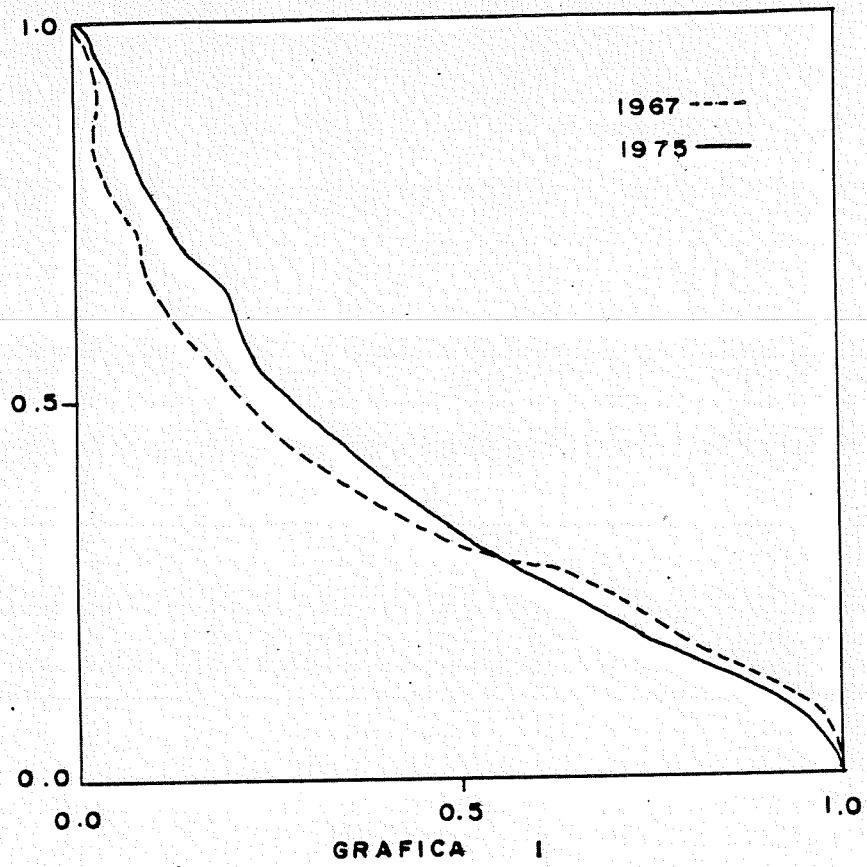
Las gráficas 1,2,3, y 4 muestran las curvas hipsométricas de los siguientes intervalos: 1967-1975, 1975-1978, 1978-1981, y 1967-1981, donde la abcisa es la razón $X = a/A$ y la ordenada es $Y = h/H$. Los valores de X menores de 0.5 representan el área cercana a la cota cero (zona somera), y los valores de X mayores de 0.5 representan la zona cercana a los muelles, (zona profunda). Los valores de Y menores de 0.5 representan también las zonas profundas, mientras que los valores mayores de 0.5 representan profundidades bajas.

En estas gráficas se puede observar en cada uno de los intervalos cuáles zonas del Puerto han tenido depositación o erosión, según sea el caso.

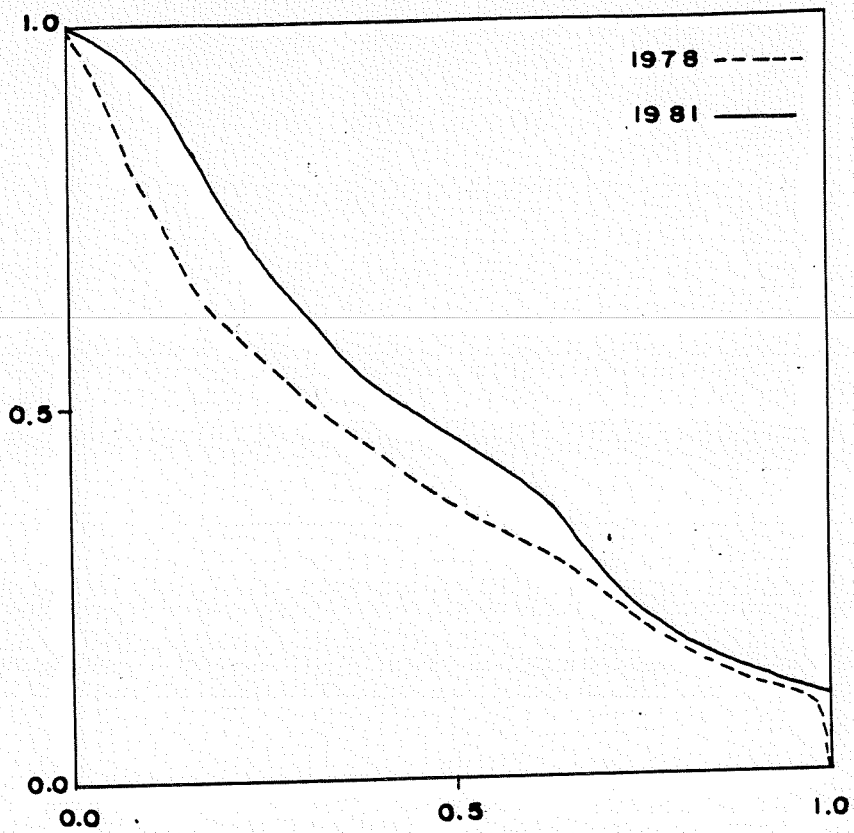
El anexo I (tabla II) presenta los datos con los que se elaboraron las curvas hipsométricas. El anexo II son las estadísticas de precipitación pluvial anual en mm para los años de 1967, 1969, 1973, y de 1975 a diciembre de 1980.

Año	Volumen de la Cuenca.	Balance Neto (sed. depositado)
1967	5,210,085 m ³	
		315,409 m ³
1975	5,525,494 m ³	
		296,426 m ³
1978	5,821,920 m ³	
		1,242,632 m ³
1981	7,064,572 m ³	
Balance 1967-1981		1,854,487 m ³
+ Volúmen dragado 1978		143,000 m ³
Volúmen total de sedimento depositado(1967-1981)		1,997,487 m ³

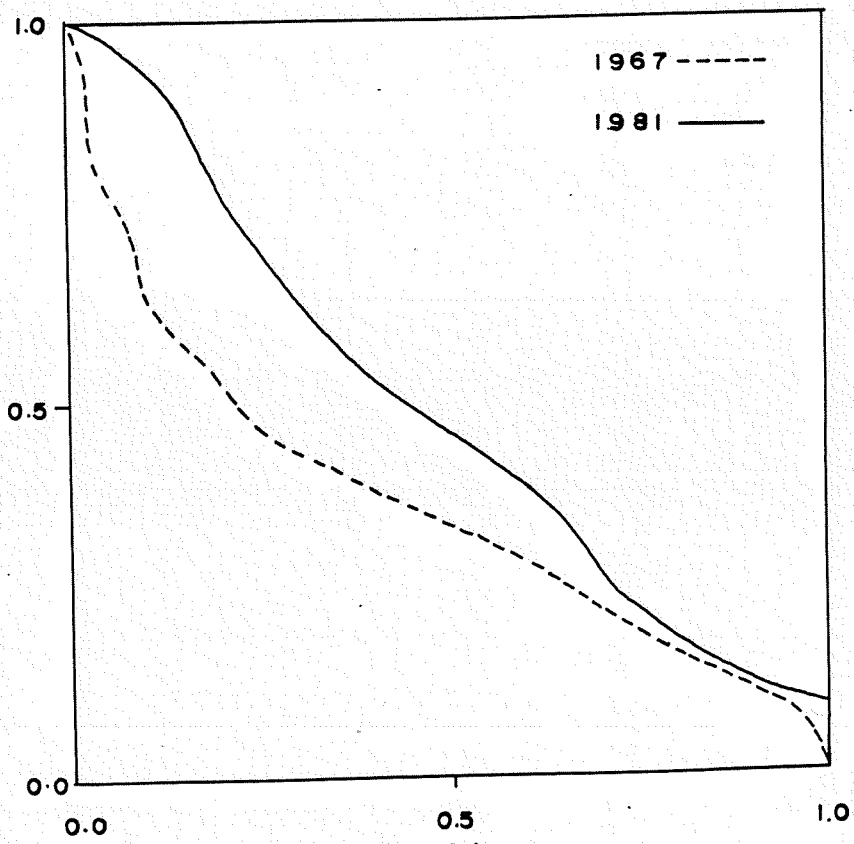
TABLA I



CURVAS HIPSOMETRICAS DE 1967, 1975, 1978.



GRAFICA 3



GRAFICA 4

CURVAS HIPSOMETRICAS DE 1978, 1981 y 1967.

Año	Precipitación Anual (en mm)
1967	223.5
1969	286.7
1973	274.5
1975	214.4
1976	413.4
1977	237.1
1978	677.2
1979	315.4
1980	477.8

ANEXO II

Estadística de lluvia para la ciudad
de Ensenada B.C. (datos proporcionados por la
división hidrométrica de la SARNI en Ensenada B.C.)

1981

IV.- DISCUSIONES.

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

1.- Intervalo anterior al período de lluvias intensas.

En el lapso entre 1967 y 1975 la precipitación pluvial promedio anual fué de 197.4 m m siendo 1967 , 1969 y 1973 los años con más lluvia (223.5, 286.7 y 274,5 mm respectivamente), esta precipitación promedio anual (197.4 mm) se considera de poca influencia a la batimetría del Puerto ya que al analizar las cartas batimétricas se observó que la línea de playa no tuvo desplazamiento hacia la rada del Puerto a la altura de la desembocadura del arroyo.

En base a los resultados obtenidos con las curvas hipsométricas de 1967 y 1975, donde el volúmen de sedimento depositado fue de 315,409 m³, a los datos presentados por Lizárraga, (1972), y a las estadísticas de lluvia entre 1967 y 1975, se considera que el volúmen de sedimento depositado en el intervalo 1967-1972 en todo el Puerto es producto de la deriva litoral, que viaja de sur a norte, producto de la difracción del oleaje por el rompeolas.

La depositación de sedimento ocurrió hacia las playas y en la zona de aguas someras en general, según puede apreciarse en la gráfica 1. La zona de muelles, o zona profunda, tuvo un poco de erosión, aumentando el área entre los 9 y 11 metros de profundidad (anexo I).

2.- Intervalo posterior a las lluvias: 1975+1978 y 1978-1981.

El ciclo de lluvias intenso comenzó a partir de 1976, por lo que en el intervalo entre 1976 y 1981 el promedio anual de precipitación pluvial aumentó a 426 mm, teniendo sus máximos en 1976 (413.4 mm anual), 1978 (677.2 mm anual), y 1980 (477.8 mm anual).

El aumento de volúmen entre 1975 y 1978 fue de 296.426 m^3 que es ligeramente menor al que hubo entre 1967 y 1975. En este lapso de 1975 a 1978 el sedimento depositado en el Puerto de Ensenada proviene de la deriva litoral y del aporte de material terrígeno por el Río de Ensenada. La gráfica no.2 muestra que el aumento de volúmen en el lapso 1975-1978 ocurrió en las zonas profundas, hacia la zona de los muelles, donde para 1978 hay menos área entre 10 y 11 metros de profundidad. El área de las partes someras, o sea hacia las playas, se mantuvo constante lo que indica que no hubo depositación considerable.

Entre enero de 1978 y diciembre de 1980 la precipitación pluvial tuvo su máximo y por ello el Río de Ensenada aportó gran cantidad de sedimentos al interior del Puerto. Del mismo modo el Río El Gallo aportó gran cantidad de sedimentos al mar mucho del cual fue transportado por la corriente litoral hacia el interior del Puerto. La diferencia de volúmen de sedimentos entre 1978 y 1981 es de $1,242,632 \text{ m}^3$, sin embargo no representa el total de sedimento depositado en ese lapso, ya que en Julio y Agosto de 1978 se dragaron $140,000 \text{ m}^3$ de sedimento en la zona de los muelles de acuerdo a los datos proporcionados por la Dirección de Dragado del Puerto de Ensenada, por lo cual esta cifra debe ser añadida a la obtenida de las curvas hipsométricas de 1978 y 1981. Esto da como resultado un volúmen de sedimento

depositado total igual a 1,382,632 m³.

La gráfica no.3 muestra que la depositación de sedimento ocurrió en todo el área del Puerto, y aunque se observa más claramente hacia la zona de playas, de acuerdo a los datos del dragado también afectó considerablemente las zonas profundas (muelles) y el canal de entrada. La línea de playa a la altura de la desembocadura del Río de Ensenada avanzó entre 80 y 100 metros aproximadamente.

El volumen de sedimento depositado entre (1967 y 1981), es de 1,997,487 m³, viéndose afectada todo el área del Puerto, como se observa en la gráfica #4. El azolvé es general y aunque se ve más evidente hacia la zona de playas, al estudiar las cartas batimétricas y los lugares donde se ha dragado, se deduce que la zona profunda también se ha depositado sedimentos. En la primera mitad de 1981 se han seguido realizando dragados para aumentar la profundidad en los muelles y por las obras de ampliación de Los Astilleros Rodríguez, S.A. pero los datos de esos dragados no están aún disponibles.

V.- CONCLUSIONES.

El Análisis Hipsométrico resultó ser muy útil y práctico en la determinación de volúmenes de cuencas deposicionales, como es el Puerto de Ensenada. Este análisis demostró la existencia de un azolve progresivo del Puerto a partir de 1967 a la fecha, viéndose afectada todo el área del mismo, incrementándose notablemente este azolve a partir de 1978. El total de sedimento depositado entre 1967 y 1981 en el Puerto de Ensenada fue de 1,997,487 m³.

Haciendo una revisión bibliográfica se encontró que los estudios de Johnson (1970) y de Satc e Irie (1970), demostraron que la construcción de estructuras artificiales como rompeolas, espigones, etc., provocan cambios sustanciales en la topografía del fondo, con la difracción del oleaje y la corriente generada a lo largo de la playa. Caldwell (1950) menciona que en los puertos que están localizados en la línea de playa, como el Puerto de Ensenada, la sedimentación resulta principalmente de la deriva litoral de sedimento debida a la incidencia oblicua del oleaje y de las corrientes a lo largo de la playa, y que en ocasiones la sedimentación también es producto de material aportado al puerto por arroyos o ríos estacionales que desembocan directamente al puerto. Lizárraga Arciniega (1972) demostró que existía una corriente a lo largo de la playa adyacente al Puerto de Ensenada, y que esa corriente era generada por la difracción del oleaje por el rompeolas del Puerto. Dicha corriente viaja de sur a norte y por lo tanto transporta material al interior del puerto.

Con los resultados obtenidos del análisis hipsométrico y

en base a la bibliografía consultada, se demuestra que el Puerto de Ensenada se está azolvando a causa del aporte del Río de Ensenada y de la deriva litoral producto de la difracción del oleaje por el rompeolas.

Las posibles soluciones que se consideran para resolver el problema son las siguientes:

- 1) El dragado para remover el exceso de sedimento depositado y mantener el calado adecuado en los muelles, como se lleva a cabo actualmente.
- 2) La construcción de otros espigones de protección o ampliación de los ya existentes para detener el aporte de sedimentos producto de la deriva litoral.
- 3) Un cambio en los tributarios de la cuenca de drenaje de los ríos de Ensenada y El Gallo para disminuir la carga de sedimentos transportados por los ríos y por lo tanto disminuir la cantidad de sedimentos que se vayan a depositar en el interior del Puerto.

De las tres soluciones factibles, la primera, el dragado, puede resultar efectiva en algunos casos, pero de cualquier modo se ha señalado por Calwell (1950) que el dragado es una medida correctiva muy costosa y debe realizarse continuamente, además de que la tendencia de las fuerzas naturales es la de restaurar la profundidad existente antes del dragado para llegar a un estado de equilibrio.

La ampliación o construcción de los espigones impedirían la entrada de material por la deriva litoral, pero tampoco permitirían la salida de lo que aporta el río de Ensenada. La tercera opción, esto es, la modificación de los tributarios para disminuir la carga de los ríos, en combinación con la construc-

ción o ampliación de los espigones de protección, podría solucionar el problema de azoive, ya que se reduciría considerablemente el aporte de sedimentos al interior del Puerto, tanto por el río de Ensenada, como por la deriva litoral. Es evidente que el costo de las obras sería alto, sin embargo el beneficio sería permanente.

VI.- RECOMENDACIONES.

Antes de aplicar alguna medida correctiva, se recomienda realizar estudios detallados del patrón de corrientes en el interior del Puerto, así como un estudio de proveniencia de los sedimentos para localizar la fuente de origen y con ello tener una visión mas completa de todos los factores que influyen en el proceso de sedimentación en el Puerto de Enseñada. Se considera que solo así puede elegirse la medida de corrección al problema de azolve y evitar un impacto económico negativo a las operaciones portuarias.

VII.- BIBLIOGRAFIA.

Bond, G. 1976: Evidence for Continental Subsidence in North America during the Late Cretaceous Global Submergence. *Geology*, vol. 4, pp 557-560

Bond, G. 1978a: Evidence for Late Tertiary Uplift of Africa Relative to North America, South America, Australia, and Europe. *Jour. of Geol.*, vol. 86, pp 47-65

Bond, G. 1978b: Speculations on Real Sea-Level Changes and Vertical Motions of Continents at Selected Times in the Cretaceous and Tertiary Periods. *Geology*, vol. 6 pp 247-250

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. *Jour. of Geol.*, vol. 83, pp 773-779

Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO), ESCM. 1967: Estudio Oceanológico de la Bahía de Todos Santos, B.C. Parte I: Observaciones Oceanológicas sobre una sección Eulitoral. (No publicado)

Johnson, J.W. 1970: Seasonal Bottom Changes in Bolinas Bay, California. *Proc. 12th Coast. Eng. Conf. Vol. 2*, pp 1383

Komar, P.D. 1976: Beach Processes and Sedimentation. Prentice Hall Inc.

Lagrula, J. 1968: Hypsographic Curve. En: The Encyclopedia of Geomorphology. Earth Sciences Series. Vol III, Editado por Fairbridge, R.W. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. Pennsylvania

Lizárraga Arciniega, R. 1972: Estudio de los Movimientos Cíclicos de la Playa en la Bahía Todos Santos, B.C., por medio de Secciones Transversales. Tesis de Licenciatura, ESCM, Ensenada, B.C. México

Magoon, O.T. 1978: Maintenance of Santa Cruz Harbor, California USA. Proc. 16th Coast. Eng. Conf. vol II, pp 1276-1281.

Mennard, H.W. & S. T. Smith. 1966: Hypsometry of Ocean Basin Provinces. Jour. Geophys. Res. vol 71, pp 4305-4325

Moody, C.L. 1967: Gulf of Mexico Distributive Province. Am. Assoc. Pet. Geol. Bull., vol 55, pp 179-199

Sato, Sh. & I. Irie. 1970: Variation of Topography of Sea-Bed Caused by the Construction of Breakwaters. Proc. 12th - Coast. Eng. Conf., vol II, pp 1301

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1981; Estadísticas de Precipitación Pluvial en la Estación # 16, Ensenada, B.C. México. Publicado por la División Hidrométrica de Ensenada, B.C.

Secretaría de Marina, 1952: Planeación del Puerto de Ensenada,
B.C. México. (No publicado)

Secretaría de Marina. 1974: Estudio Geográfico de la Región de
Ensenada, B.C. Publicado por la Dirección General de Se-
ñalamiento Marítimo, México, D.F.

Strahler, A.N. 1952: Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of
Erosional Topography. Geol. Soc. of America Bull. vol 63
pp 1117-1142

Thompson, H.D. 1941: Topographic Analysis of the Monterey,
Staunton, and Harrisonburg Quadrangles. Jour. Geol. vol
49, pp 521-549