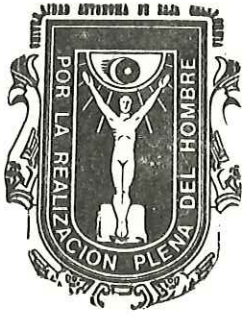
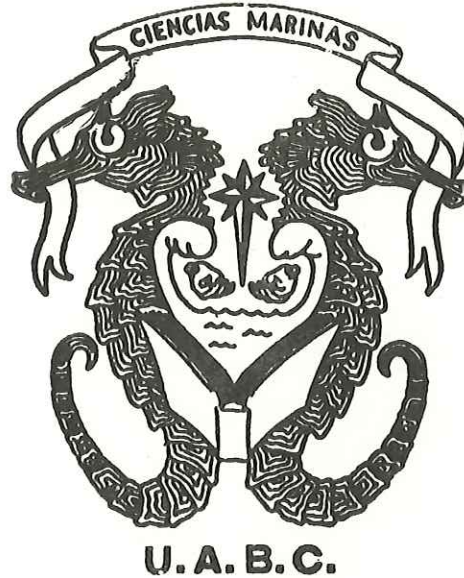


011659



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE
BAJA CALIFORNIA

ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS MARINAS



ESTIMACION CUANTITATIVA Y CUALITATIVA
DEL AZOLVAMIENTO EN EL PUERTO DE
ENSENADA, B. C., MEXICO

TESIS

Que para obtener el Título de

OCEANOLOGO

Presenta

JORGE TORRES RODRIGUEZ

Octubre de 1985

BIBLIOTECA CENTRAL ENSENADA

RESUMEN

Uno de los principales problemas en Ingeniería Portuaria es la cuantificación del azolvamiento en puertos costeros, esto con el fin de evaluar el impacto económico debido al dragado y garantizar un margen de seguridad en las áreas de navegación. Tradicionalmente estas mediciones se infieren del balance neto de sedimento transportado por la deriva litoral en las playas adyacentes hacia el interior del puerto.

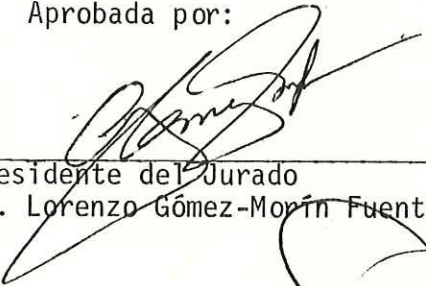
En este documento se propone una metodología capaz de cuantificar el azolve basada en la cubicación bajo un plano de mínimos cuadrados, siendo además complementada con una parte cualitativa que permite visualizar las áreas de acreción y erosión. Su aplicación se efectuó en el Puerto de Ensenada B. C., México resultando un azolvamiento progresivo entre los años 1967 y 1983, alcanzando un máximo entre 1978 y 1981, y determinándose su origen a partir de los arroyos vecinales y la deriva litoral.

El método presentó algunas ventajas sobre el Análisis Hipsométrico además de ser apropiado para su implementación a sistemas computarizados.

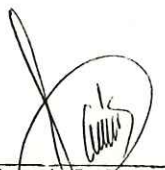
"ESTIMACION CUANTITATIVA Y CUALITATIVA
DEL AZOLVAMIENTO EN EL PUERTO DE
ENSENADA B. C., MEXICO."

T E S I S
QUE PRESENTA
JORGE TORRES RODRIGUEZ

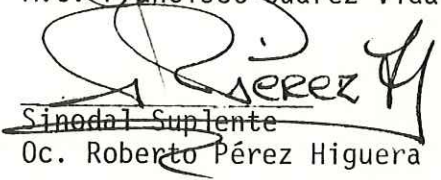
Aprobada por:




Presidente del Jurado
Oc. Lorenzo Gómez-Morín Fuentes



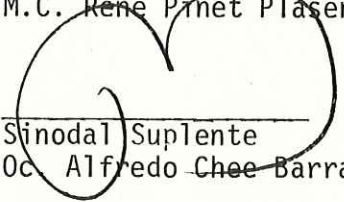
Sinodal Propietario
M.C. Francisco Suárez Vidal



Sinodal Suplente
Oc. Roberto Pérez Higuera



Sinodal Propietario
M.C. René Pinet Plasencia



Sinodal Suplente
Oc. Alfredo Chee Barragán

DEDICATORIA

a mis padres; por su apoyo y paciencia infinitos.

a mis hermanos; por su ejemplo y circunspección.

a E; quien troc6 un invierno en primavera.

a Archivaldo; por su amistad y compañia incondicionales.

AGRADECIMIENTOS

Hago pataente mi gratitud a mis maestros y sinodales Oc. Lorenzo Gómez-Morín por sus múltiples facilidades y consejos otorgados en la supervisión del trabajo. Al Oc. Alfredo Chee, Oc. Roberto Pérez, M.C. René Pinet y M.C. Francisco Suárez por su tiempo y sugerencias durante las revisiones del escrito. Al M.C. Juan Manuel Espinoza por su aportación en conceptos fundamentales para el estudio. Al personal bibliotecario, especialmente Cecy y Paty, por sus atenciones en la Unidad Enseñada de la UABC. A mis compañeros en la UCM.

Se agradece a la Dirección General de Obras Marítimas (SCT) y la División Hidrométrica (SARH) la asequibilidad de sus datos.

Ha sido básico el apoyo proporcionado por el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Enseñada (CICESE) a través del personal que colabora en el Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones, así como en los Grupos de Sedimentos Laminados, Dinámica de Lagunas Costeras y Centro de Cálculo Electrónico.

A todos ellos mi reconocimiento por su colaboración, en el entendimiento que cualquier omisión o error es responsabilidad mía.

Ensenada, B. C.
Octubre de 1985.

Jorge Torres R.

INDICE

1.	INTRODUCCION.....	1
2.	ANTECEDENTES.....	5
2.1	GENERALES.....	5
2.2	PARTICULARES.....	7
3.	OBJETIVOS.....	9
4.	DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.....	10
5.	MATERIALES.....	16
6.	METODOLOGIA.....	17
6.1	INTRODUCCION AL METODO.....	17
6.2	DESCRIPCION DEL METODO.....	19
6.3	PROCEDIMIENTO.....	26
7.	RESULTADOS.....	27
8.	DISCUSIONES.....	30
8.1	DEL ANALISIS CUANTITATIVO.....	30
8.2	DEL ANALISIS CUALITATIVO.....	34
9.	CONCLUSIONES.....	46
9.1	DEL METODO.....	46
9.2	DEL AREA DE ESTUDIO.....	48
10.	BIBLIOGRAFIA.....	51

LISTA DE TABLAS

TABLA	PAG.
I.- RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE METODO DE REGRESION.....	29
II.- COMPARACION DE RESULTADOS POR HIPSOMETRIA Y REGRESION.....	33

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PAG.
1.- PLANO QUE MUESTRA LA RADA PORTUARIA CON LOS ESPIGONES 1 Y 2.....	12
2.- PATRON DE DIRECCION DE TRANSPORTE DE SEDIMENTO EN LA ZONA PORTUARIA DE ENSENADA.....	13
3.- CONFIGURACION ACTUAL DEL PUERTO DE ENSENADA B. C.....	14
4.- LOCALIZACION GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO.....	15
5.- SUPERFICIE IRREGULAR.....	22
6.- SUPERFICIE DE RESPUESTA.....	23
7.- RELACION ENTRE UNA SUPERFICIE IRREGULAR Y SU CORRESPONDIENTE SUPERFICIE DE RESPUESTA.....	24
8.- MAPA BATIMETRICO PARA 1967.....	37
9.- MAPA DE DIFERENCIAS 1967-1975.....	38
10.- MAPA BATIMETRICO PARA 1975.....	39
11.- MAPA DE DIFERENCIAS 1975-1978.....	40
12.- MAPA BATIMETRICO PARA 1978.....	41
13.- MAPA DE DIFERENCIAS 1978-1981.....	42
14.- MAPA BATIMETRICO PARA 1981.....	43
15.- MAPA DE DIFERENCIAS 1981-1983.....	44
16.- MAPA BATIMETRICO PARA 1983.....	45
17.- PATRON DE ACRECIION GLOBAL ENTRE 1967 Y 1983.....	50

1.- INTRODUCCION.

Es evidente la importancia que tiene la infraestructura portuaria en el desarrollo económico de las naciones, debido principalmente a la amplia relación que mantienen los puertos con el comercio , ya que funcionan como los medios para la entrada y la salida de materias primas o de bienes de consumo , brindando además una de las formas de transporte más económicas en la actualidad.

No obstante las ventajas que otorga el transporte marítimo , algunos puertos se ven restringidos a permitir la navegación solo de embarcaciones hasta de cierto calado o en determinadas condiciones de marea por razones de profundidad.

Una profundidad adecuada en las áreas de navegación de un puerto le da ventajas tales que:

a) Las embarcaciones puedan entrar o salir con cualquier condición de marea.

b) Los buques entren o salgan del puerto a plena carga.

c) Se tenga mayor seguridad en la navegaci3n.

A su vez , la profundidad adecuada depender3 de:

a) La curva de frecuencia del calado de los barcos que escalan en dicho puerto.

b) Del desarrollo que en el futuro pueda tener el puerto en funci3n de los barcos que arriben a este.

Conocido el tipo de embarcaciones que usar3n el puerto , se est3 en posibilidad de separar las zonas de operaci3n de buques comerciales , cruceros turisticos , atuneros , camareros , yates deportivos , etc. ya que tienen diferentes calados y diferentes necesidades de extensi3n en las 3reas de navegaci3n.

Por lo que refiere a los trabajos de conservaci3n de calado , para mantener una profundidad m3nima en las darsenas el costo del volumen dragado debe prorratearse en el total de toneladas movidas en el puerto ; es obvio que a mayor volumen de carga movidas por las diferentes instalaciones portuarias el costo por mantenimiento de dragado ser3 menor.

En la mayoria de los puertos se ha incrementado

artificialmente la profundidad con el fin de otorgar las ventajas antes mencionadas . Sin embargo , la tendencia de las fuerzas naturales a restaurar las profundidades normales origina el azolve de sus dársenas.

El mantenimiento de puertos sujetos a azolvamiento requiere de una cuantificación , lo más exacta posible , del sedimento que se deposita en su interior , así como del conocimiento de los patrones de transporte y depositación de materiales para evaluar el impacto económico debido al dragado del canal de navegación y el puerto en general.

Tradicionalmente la medición del azolve se ha inferido a partir de relacionar la deriva litoral en las costas adyacentes con los volúmenes dragados en los puertos en cuestión. Aunque los métodos empleados para el cálculo del transporte litoral son útiles en la comprensión de los procesos costeros , requieren de cadenas complejas de cálculos las cuales en ocasiones son difíciles de hacer ó carecen de suficiente información , redundando además en prolongadas y costosas campañas de inspección o la adquisición de instrumental algunas veces sofisticado y caro.

Como la realización de un proyecto lleva implícito un

precio , es conveniente hacer algunas consideraciones de caracter técnico que impliquen soluciones al más bajo costo.

Una alternativa en este caso la presenta el empleo de los sistemas computarizados , que ofrecen las ventajas de almacenamiento y procesado de grandes cantidades de datos así como la capacidad de presentación de resultados ya sea en pantalla o por medio de impresoras , permitiendo ahorrar recursos en tiempo y esfuerzo.

No obstante las cualidades que caracterizan a estos aparatos , un punto en que se debe enfatizar es el hecho de que los computadores no poseen "intuición" y por lo tanto la confiabilidad y exactitud de los resultados dependerá en gran parte de la programación y la metodología que se esté utilizando para la solución del problema al que el usuario se ha avocado.

La metodología empleada en este estudio es relativamente simple ya que los únicos parámetros analizados son las cotas batimétricas y sus coordenadas geográficas haciendo uso de técnicas estadísticas como la regresión múltiple , además de la comparación de mapas relacionada al campo de la geología. Su aplicación se efectuó en el Puerto de Ensenada, Baja California , México.

2.- ANTECEDENTES.

2.1- GENERALES.

No obstante que la mayoría de los métodos empleados para el cálculo de azolvamiento en puertos están relacionados con estimaciones de la deriva litoral, la manera más sencilla para cuantificar el volumen de sedimento depositado ó erosionado en un puerto se basa en la comparación del volumen de sedimento en el mismo al paso del tiempo.

La problemática de azolvamiento en puertos ha sido estudiada en algunos países como Japón y los Estados Unidos de Norteamérica.

Noda(1966) , con el fin de cuantificar la cantidad de material depositado dentro de un puerto , se avoca al estudio de los mecanismos de transporte costero utilizando modelos experimentales en laboratorio. Por otro lado , Sato e Irie(1970) se centran en la parte cualitativa; observando , en base a levantamientos batimétricos , el comportamiento del fondo originado por la influencia de estructuras costeras. Johnson(1970) y John(1974) hacen

aplicación de análisis de mapas a zonas abiertas como bahías y estuarios visualizando los patrones de erosión y depositación del fondo.

Magoon(1978) , con el fin de cuantificar la deriva litoral emplea mediciones de flujo de energía (S_{xy}) a lo largo de la costa , asociándolo con el aporte sedimentario al puerto.

Estos son algunos ejemplos. Además existen metodologías como las proporcionadas por el U. S. Army Coastal Engineering Research Center (USACERC) relacionadas con el cálculo de la deriva litoral a partir de parámetros oceanográficos, entre otros.

2.2- PARTICULARES.

Ippen (1966), señala que en el puerto de Ensenada para el año de 1955 se observó un realinamiento en la línea de costa dentro de la rada en su región Este, esto debido al transporte litoral hacia el interior del puerto y provocado por la alteración de los patrones de refracción y difracción del oleaje en el lado protegido del rompeolas. En 1967 el Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) de la UABC, hace notar en su reporte que los espigones, ya para entonces existentes, cumplen con su misión al retener el acarreo de sedimentos, de Sur a Norte producido por la difracción del oleaje, pero no permitiendo la salida hacia el Sur del sedimento terrígeno aportado por el Arroyo Ensenada. Posteriormente Lizarraga (1976), confirma el papel que juegan los espigones 1 y 2 reteniendo el transporte Sur-Norte y haciendo avanzar la línea de costa hacia el mar entre 1961 y 1971. Ver figura 1.

En estudios posteriores realizados por Méndez (1982) y Aranda (1983), se dictaminó mediante análisis sedimentológicos y mineralógicos respectivamente la existencia de corrientes litorales predominantes con sentido Sur-Norte en el área Sur de la rada, y otras con sentido NO-SE en el área externa al Oeste de la rada.

Ver figura 2.

Además del aporte litoral , el aporte terrígeno del Arroyo Ensenada juega un papel importante en el azolvamiento del puerto. Gómez-Morín (1982) , mediante el Análisis Hipsométrico concluye que existe un azolvamiento progresivo desde 1967 a 1981 , con un incremento notable a partir de 1978. Actualmente la Dirección General de Obras Marítimas ha proyectado la prolongación del rompeolas y la construcción de un nuevo espigón denominado "El Gallo" , quedando el drenaje del Arroyo Ensenada dentro de la rada portuaria e interponiéndose el nuevo espigón a la deriva litoral. Ver figura 3.

3.- OBJETIVOS.

1) Determinar el volumen de sedimento depositado ó erosionado dentro de la rada portuaria de Ensenada Baja California entre los años 1967 y 1983 , utilizando métodos de regresión múltiple.

2) Identificar las zonas estables del puerto y discriminar entre aquellas donde predomina la erosión o la acreción de sedimento , mediante la comparación de mapas.

4.- DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.

El Puerto de Ensenada está ubicado a los $116^{\circ} 37' 30''$ longitud Oeste y a los $31^{\circ} 51' 30''$ latitud Norte. Se localiza en la costa Oeste de la Península de Baja California, aproximadamente a unos 100 Kmts. al Sur de la frontera México-EUA y sobre la margen NE de la Bahía de Todos Santos. Ver figura 4.

Es un puerto de altura que cuenta con un área aproximada de 1.982 Km^2 . En su región Oeste está protegido por un rompeolas conectado a costa construido de enrocamiento y que se inicia en lo que fué Punta Ensenada prolongándose con dirección SE hacia mar adentro. Ver figura 2.

Limita al Oeste con playas predominantemente rocosas intercaladas con algunas playas de bolsillo donde el material va desde las arenas hasta los cantos rodados.

Al Sur colinda con una extensa playa arenosa y recta en cuya región proximal desemboca un arroyo estacional denominado El Gallo. Del Este recibe las descargas intermitentes del Arroyo Ensenada y la zona norte está destinada al recinto portuario.

El puerto de Ensenada ofrece facilidades portuarias a buques de carga , pesqueros , turisticos y yates deportivos.

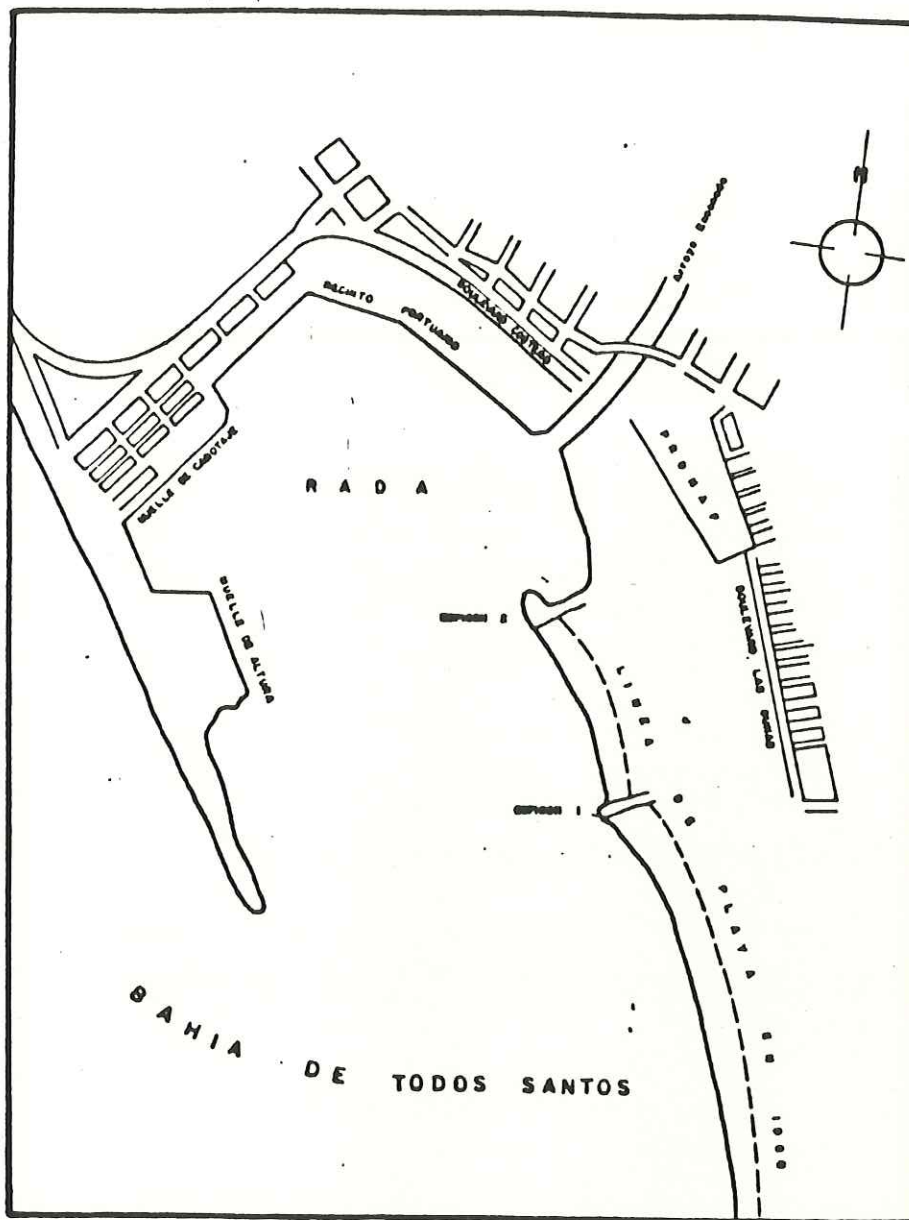
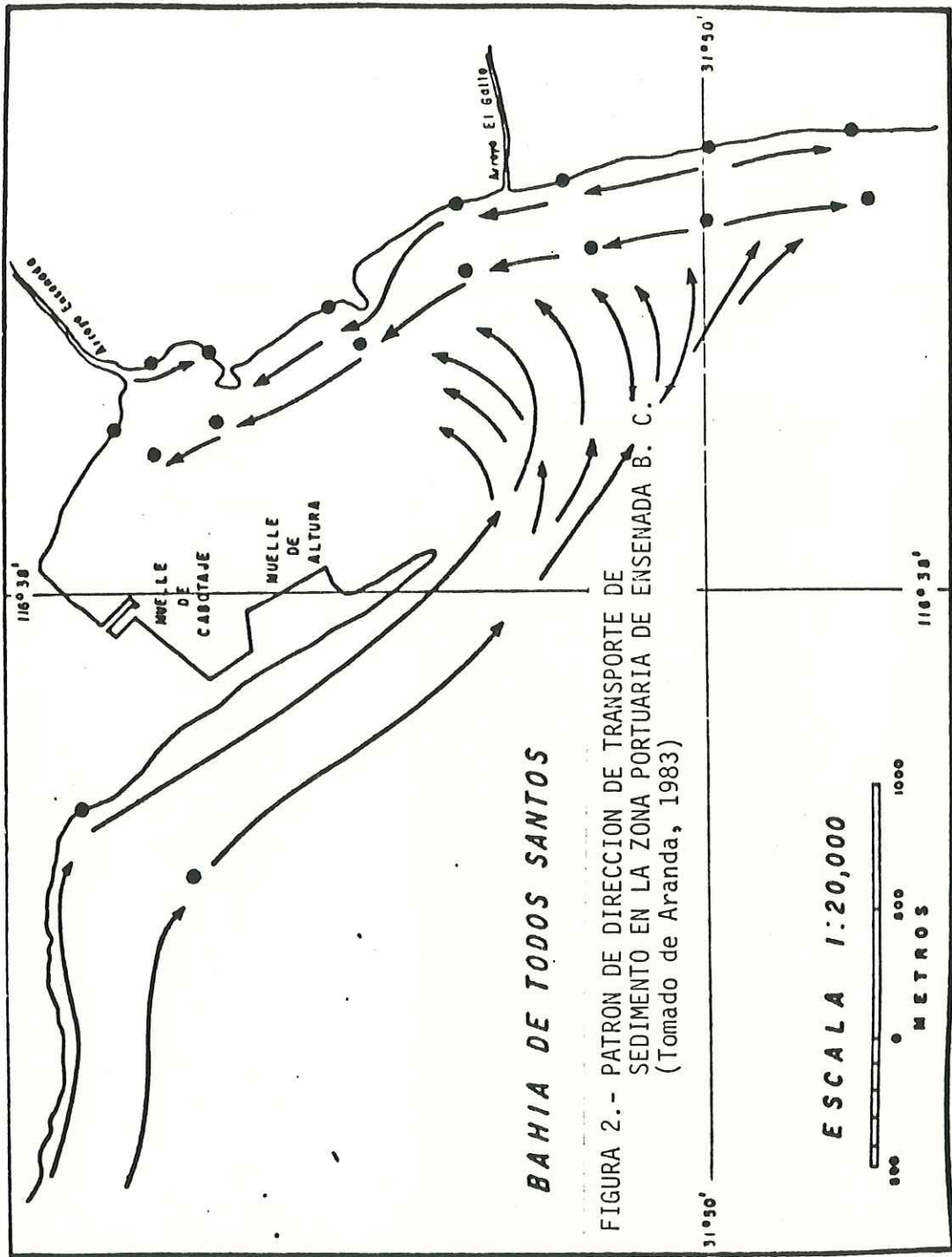


FIGURA 1.- PLANO QUE MUESTRA LA RADA PORTUARIA CON LOS
 ESPIGONES 1 Y 2; NOTESE EL AVANCE DE LA LINEA DE
 PLAYA. (Tomado de Lizarraga, 1976)



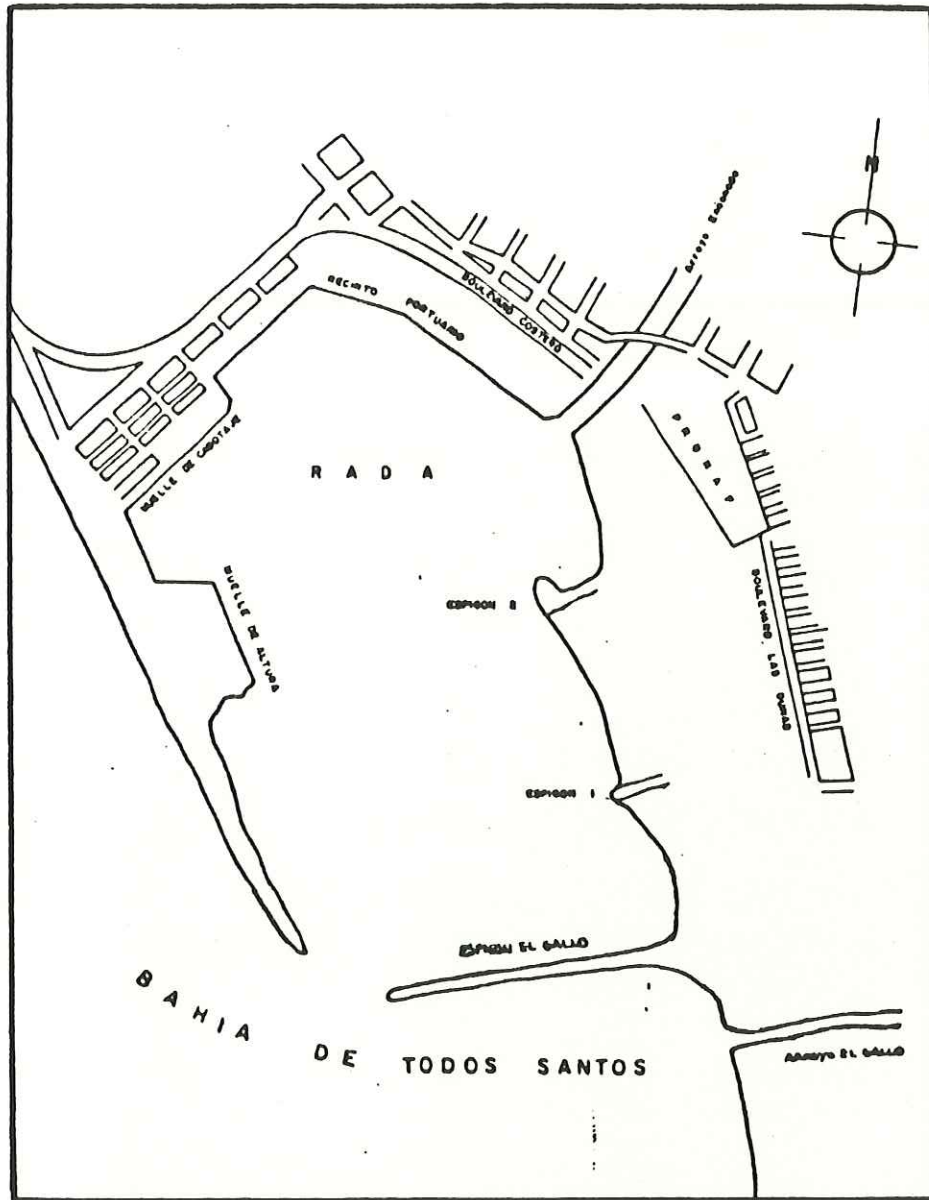


FIGURA 3.- CONFIGURACION ACTUAL DEL PUERTO DE ENSENADA B. C.
(Modificado de Lizarraga, 1976)

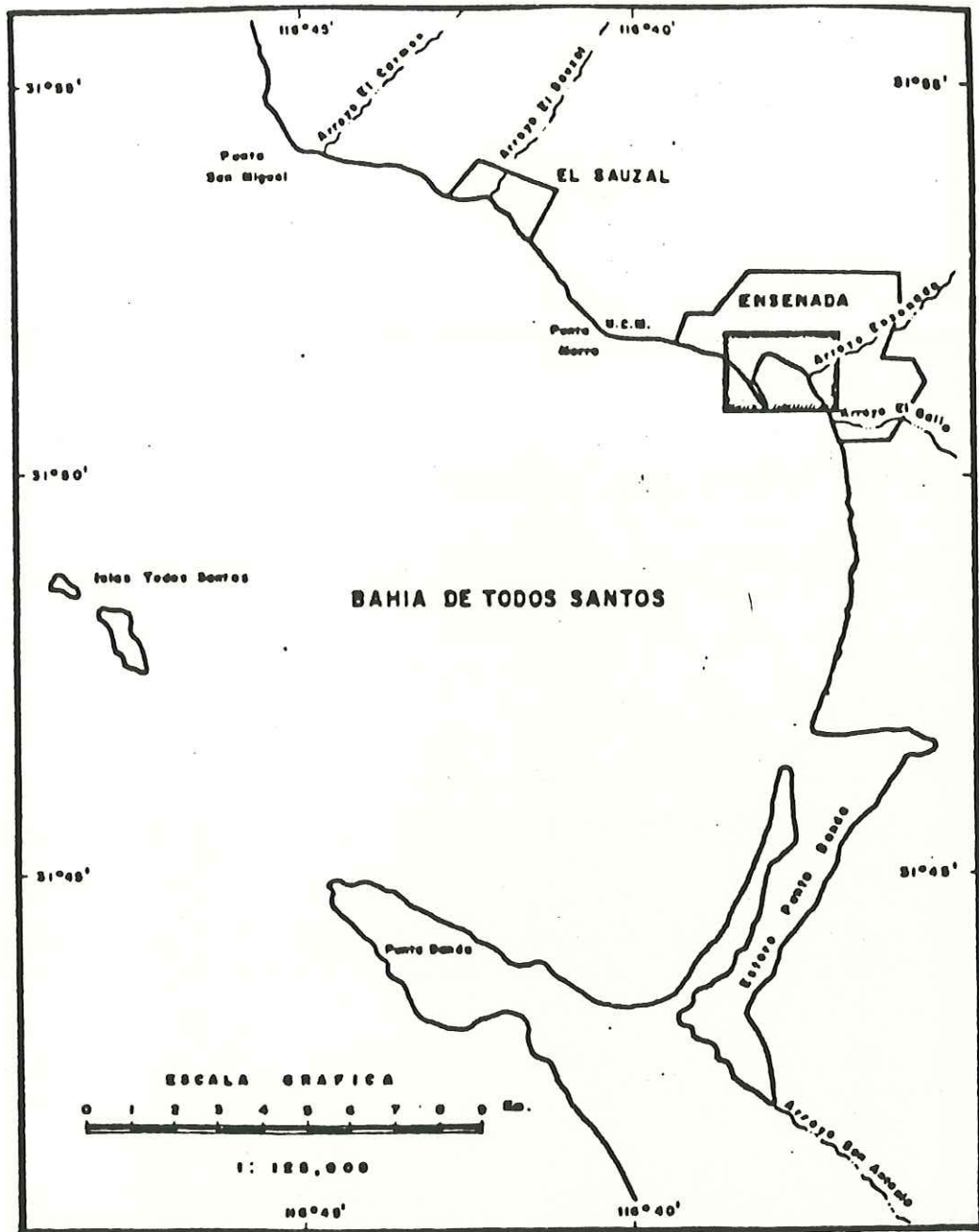


FIGURA 4.- LOCALIZACION GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO.
(Modificado de González, 1981)

5.- MATERIALES.

1._ Cartas batimétricas del Puerto de Ensenada B. C. elaboradas por la Dirección General de Obras Marítimas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Escala 1:2000 , años 1967 , 1975 , 1978 , 1981 , 1983

2._ Estadística de precipitación pluvial para Ensenada B. C. en la estación no. 16 de la División Hidrométrica de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH).

3._ Sistema Gráfico Tektronix 4051. Consistente en un microcomputador de escritorio que consta de un microprocesador de 8 bits, memoria de acceso aleatorio de 8K bytes, pantalla para despliegue visual de alta resolución de 11 pulgadas, unidad de cinta magnética interconstruida, y un interpretador de lenguaje BASIC extendido.

4._ Tableta Gráfica Tektronix 4956. Compuesta por el controlador de tableta, un cursor de 4 botones, y una tableta de 36 X 48 pulgadas.

5._ Minicomputador PRIME 750 de 32 bits, aritmética de doble precisión , memoria de acceso aleatorio de 1M bytes, y sistema de tiempo compartido.

6.- METODOLOGIA.

6.1- INTRODUCCION AL METODO.

En este trabajo se utilizó una metodología basada en la cubicación bajo un plano de regresión por mínimos cuadrados y la comparación de volúmenes al paso del tiempo para cuantificar la cantidad neta de sedimento depositado ó erosionado en el interior de la rada.

Con el fin de visualizar los patrones de sedimentación , diferenciando las zonas estables de aquellas donde predomina la acreción ó la erosión , se hace uso de la comparación de mapas.

Por razones de índole práctico se omiten algunas consideraciones como son la derivación del sistema de ecuaciones normales y la formalización en el uso de pruebas de hipótesis estadísticas. Sin desdeñar la importancia que revisten estos temas , se utilizaron los conceptos básicos como herramienta de trabajo delegando la parte formal al teórico en la materia.

La carencia de información histórica en lo que se

refiere a datos de campo en los levantamientos batimétricos ha obligado al uso de cartas batimétricas , se advierte que las interpolaciones hechas sobre los mapas han sido en forma visual y siguiendo un plan de muestreo uniforme. Aunque el diseño del muestreo pudo haber sido estrictamente regular sobre los mapas , no se hizo así debido a que en su aplicación en el campo sería practicamente imposible.

6.2- DESCRIPCION DEL METODO.

Puede existir una relación entre las variables X , Y y Z que puede estar dada por la ecuación lineal

$$Z = a_0 + a_1X + a_2Y \quad (1)$$

En un sistema de coordenadas tridimensional rectangular , esta ecuación representa un plano y los puntos muestrales (X_1, Y_1, Z_1) , (X_2, Y_2, Z_2) , , (X_n, Y_n, Z_n) pueden no estar muy distantes de este plano al que se le designa como "superficie de respuesta" o por extensión del método de mínimos cuadrados como "plano de mínimos cuadrados" de aproximación a los datos.

Las ecuaciones normales correspondientes al plano de mínimos cuadrados son dadas por:

$$\begin{cases} \sum Z = a_0 N + a_1 \sum X + a_2 \sum Y \\ \sum XZ = a_0 \sum X + a_1 \sum X^2 + a_2 \sum XY \\ \sum YZ = a_0 \sum Y + a_1 \sum XY + a_2 \sum Y^2 \end{cases} \quad (2)$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones (2) se obtienen los valores de las constantes que satisfacen (1).

Asumiendo que las variables X y Y representan las coordenadas geográficas Este-Oeste y Norte-Sur respectivamente, y la variable Z las alturas, la ecuación (1) será una función lineal con algún valor constante (a_0) relacionado con el promedio de las alturas más una componente Este-Oeste (a_1) y una componente Norte-Sur (a_2).

De esta manera la ecuación (1) representa el plano de regresión de Z sobre X y Y, y la relación

$$\hat{Z} = a_0 + a_1X + a_2Y$$

arrojará los valores estimados sobre el plano de mínimos cuadrados asociado a los datos.

Si los valores sobre dicho plano son calculados y

sustraídos a los correspondientes puntos de observación , la colección resultante de números (o sea las desviaciones) tendrá una media igual a cero , esto es

$$\frac{\sum_{i=1}^N (Z_i - \hat{Z}_i)}{N} = 0$$

infiriendo de ello que el peso de las desviaciones por arriba y por abajo del plano son equivalentes.

En base a este razonamiento podemos argumentar que los cuerpos esquematizados en las figuras 5 y 6 poseen igual volumen , ya que el segundo es la superficie de respuesta de los datos obtenidos a partir del primero. La relación entre los dos cuerpos se muestra gráficamente en la figura 7.

Para una información más detallada el lector puede referirse a Spiegel(1961).

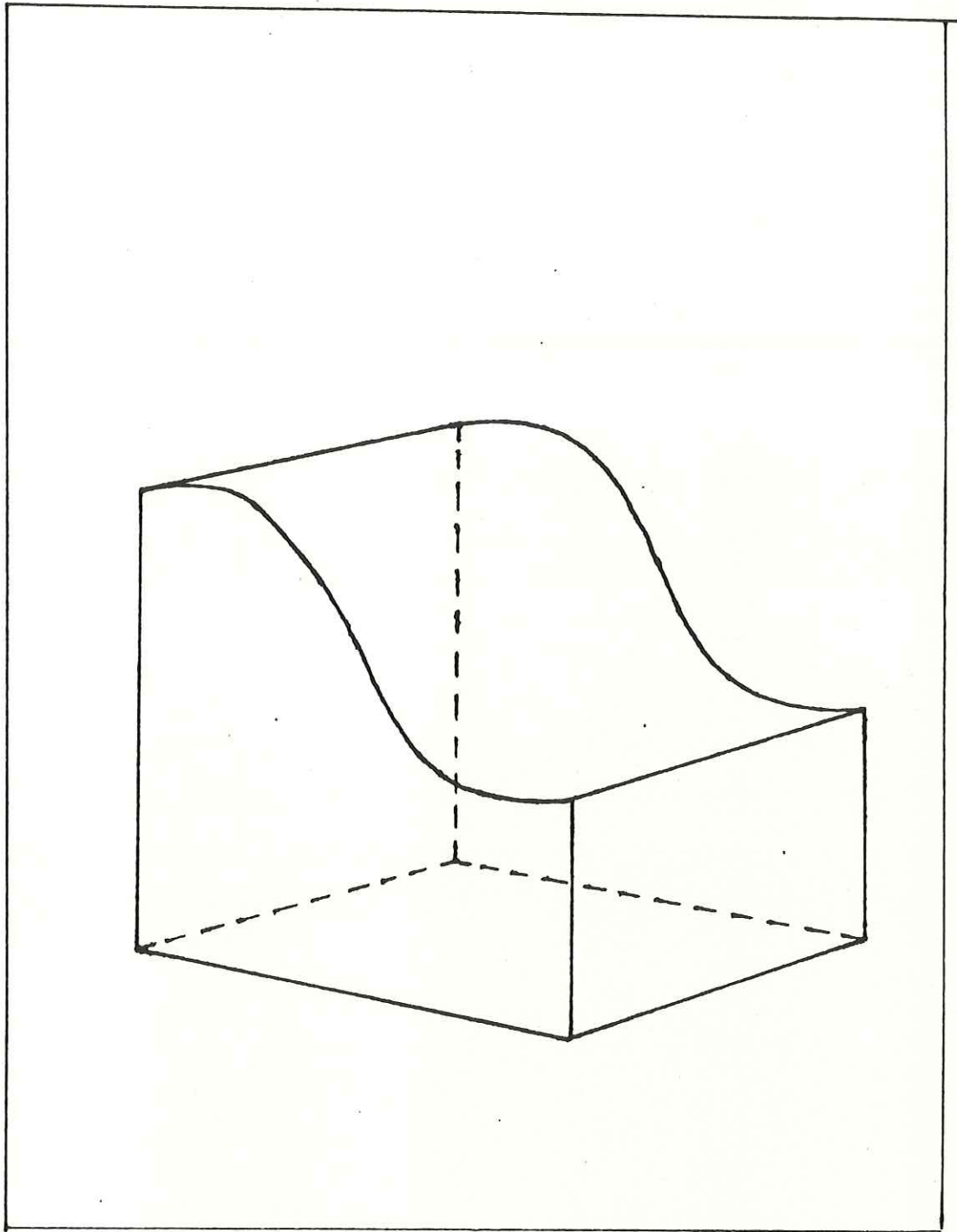


FIGURA 5.- SUPERFICIE IRREGULAR.

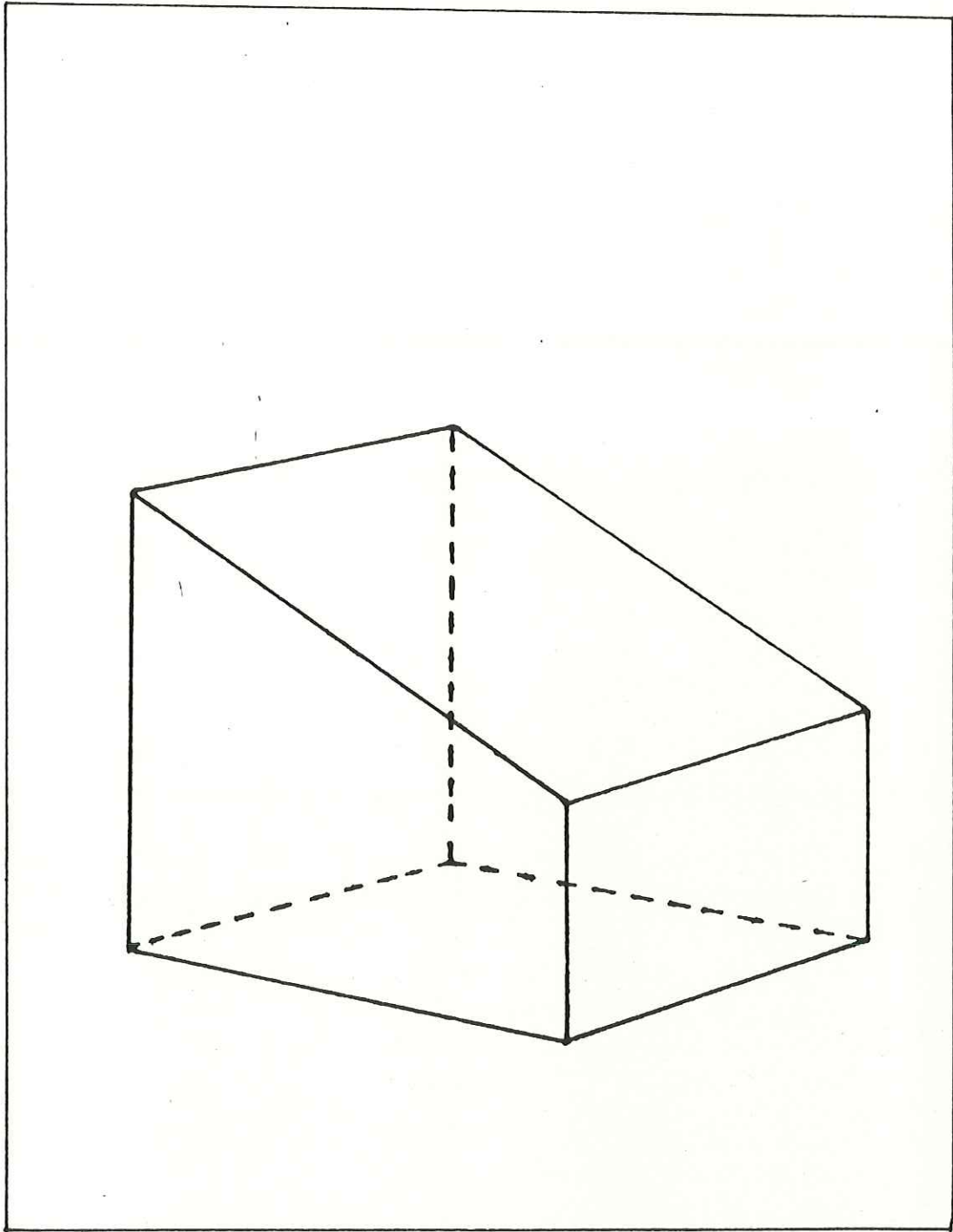


FIGURA 6.- SUPERFICIE DE RESPUESTA.

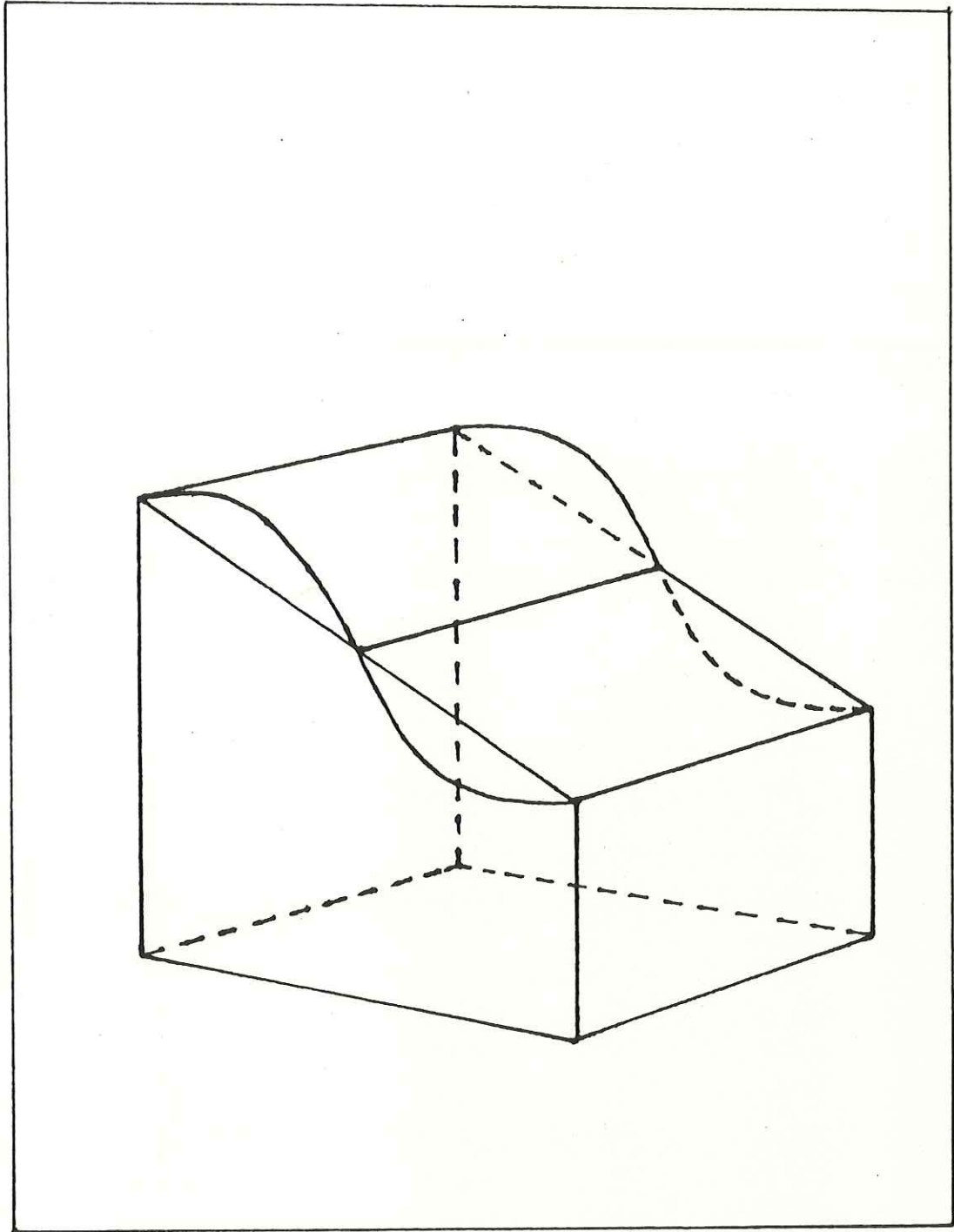


FIGURA 7.- RELACION ENTRE UNA SUPERFICIE IRREGULAR Y SU
CORRESPONDIENTE SUPERFICIE DE RESPUESTA.

El caso más simple de comparación de mapas es entre dos mapas del mismo tipo de variable y en la misma región.

Cuando la variable es la elevación entre dos superficies u horizontes de referencia, estos se denominan mapas de isopacas.

Si las observaciones han sido tomadas en puntos comunes a ambos mapas, la diferencia entre los dos juegos de datos puede ser encontrada directamente y entonces contorneada.

En el caso de este trabajo las variables son del mismo tipo y han sido medidas en la misma región. Sin embargo las observaciones no se han hecho en los mismos puntos para los diferentes tiempos.

Una forma de resolver este problema es estimando un conjunto de valores sobre una red de puntos comunes a ambos mapas y sustrayendo punto a punto una red de la otra. La configuración de la red resultante será un mapa de isopacas que revelará las zonas de erosión o acreción.

Información más amplia puede encontrarse en Davis (1973).

6.3- PROCEDIMIENTO.

I- Se ejecutó el digitalizado de los mapas batimétricos en orden cronológico.

II- Se calculó el volumen de sedimento dentro de la rada para cada conjunto de datos en cada tiempo.

III- Se obtuvo la diferencia de volumen entre tiempo y tiempo conociendo así la cantidad de sedimento depositado.

IV- se prepararon mapas de contorno para los datos digitalizados y para las redes de diferencias, obteniendo de esta manera los mapas batimétricos y los mapas de diferencias.

7.- RESULTADOS.

La tabla I se refiere a los volúmenes diferenciales obtenidos entre los años 1967 , 1975 , 1978 , 1981 y 1983 , además muestra el volumen global depositado entre 1967 y 1983 .

Las figuras 8 a la 17 representan mapas de la zona del Puerto de Ensenada . Están referidos a un sistema de coordenadas arbitrario cuyas unidades son metros y a una escala de (1:10700) .

Las figuras 8, 10, 12, 14 y 16 corresponden a los mapas batimétricos del puerto para el año correspondiente , los contornos se han hecho a cada metro y la isolinea cero es el nivel de bajamar media inferior según los datos digitalizados de los mapas originales de la Dirección General de Obras Marítimas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) .

Las figuras 9, 11, 13 y 15 son los mapas de diferencias entre los mapas batimétricos inmediato anterior y el siguiente . En estos , los contornos se han hecho cada 0.25 mts. , los contornos en línea sólida representan las diferencias positivas (relacionadas a las zonas de acreción) , mientras que las isolineas

intermitentes indican las diferencias negativas (zonas de erosión). La isolinia cero delimita las zonas estables donde los procesos erosivos y acrecionales se mantuvieron en promedio equilibrados durante el lapso de tiempo comprendido entre una observación y la siguiente.

TABLA I.- RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE METODO DE REGRESION.

Año	Volumen Diferencial M ³
1967	261,434.00
1975	353,244.00
1978	1,483,384.00
1981	45,302.00
1983	45,302.00
1967 - 1983	2,143,364.00

8.- DISCUSIONES.

8.1- DEL ANALISIS CUANTITATIVO.

Con el fin de establecer un marco de referencia para el análisis de los resultados , se ha hecho una comparación con los obtenidos por Gómez-Morín(1982).

La tabla II contiene en sus columnas de izquierda a derecha :

- Los cuatro episodios en que fué subdividido el estudio (en base a los mapas disponibles) en la primera columna.

- En la segunda columna los años límites para cada episodio.

- En la tercer columna los volúmenes obtenidos por Gómez-Morín(1982) mediante el método hipsométrico.

- En la cuarta columna se tienen los volúmenes correspondientes calculados por método de regresión.

- En la quinta y última columna los promedios de precipitación pluvial para cada episodio , obtenidos a

partir de los datos proporcionados por la División Hidrométrica de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH).

En la parte inferior de la misma tabla se presentan los resultados globales para el intervalo comprendido entre 1967-1981 y para el intervalo 1967-1983 , además de las áreas de cobertura utilizadas en los dos estudios.

Del comportamiento de las dos últimas columnas se infiere una relación directa entre la precipitación pluvial y el volumen de sedimento depositado ; manteniendo una tendencia positiva al paso del tiempo durante los episodios I y II para alcanzar el máximo en el episodio III y coincidiendo con el máximo en precipitación. A partir de este punto se inicia un decremento tanto en la tasa de depositación como de precipitación durante el episodio IV. No obstante que a este último episodio se le asigna un promedio de precipitación considerable en relación a los anteriores , la reducción en el volumen depositado ha sido drástica. Esto se explica como el resultado de la eliminación del aporte por deriva litoral debido a la interposición del espigón El Gallo cuya construcción se inició en Octubre de 1981.

Las discrepancias entre valores correspondientes en los resultados obtenidos por ambos métodos tienen principalmente dos orígenes:

1__ El empleo de métodos diferentes.

A este respecto la distribución de puntos de muestreo es el factor más importante. A diferencia del Método Rápido Hipsométrico que se basa en una distribución aleatoria, el método propuesto en este trabajo es de distribución uniforme.

La confiabilidad en el análisis de mapas depende primordialmente de la densidad y uniformidad del muestreo, Davis(1973). Además, en el cálculo del volumen para el Método Hipsométrico, la exactitud depende en gran parte de la persona que calcula el área bajo la curva hipsométrica.

2__ La diferencia en el área de cobertura para los dos casos de estudio.

Debido a que el área utilizada por Gómez-Morán(1982) corresponde al 67% del área utilizada en este estudio, se espera que los volúmenes resultantes de este trabajo sean mayores.

TABLA II.- COMPARACION DE RESULTADOS POR
HIPSOMETRIA Y REGRESION.

Episodio	Años	Volumen Diferencial M ³		Precipitación Pluvial Promedio (mm)
		Hipsométrico	Regresión	
I	1967-1975	315,409.00	261,434.00	197.5
II	1975-1978	296,426.00	353,244.00	385.5
III	1978-1981	1,242,632.00	1,483,384.00	427.3
IV	1981-1983	--- ---	45,302.00	339.0
Global	1967-1981	1,854,487.00	2,098,062.00	336.8
Global	1967-1983	--- ---	2,143,364.00	337.3
Area de cobertura M ²		1,327,478.00	1,982,065.00	

8.2- DEL ANALISIS CUALITATIVO.

Los mapas de diferencias muestran los patrones de acreción-erosión dentro de la rada portuaria :

---- La figura 9 corresponde al episodio I , caracterizado por el mínimo en precipitación pluvial , y permite visualizar una amplia zona de estabilidad que va desde la zona de acceso al puerto hasta la zona Norte de la rada , incluyendo en ella gran parte del canal de navegación. Las áreas de más severa erosión se localizan al NE y SE de la rada asociándose al bajo aporte proveniente del Arroyo Ensenada y la deriva litoral , existiendo otras de menor grado en la zona Norte y el canal de navegación. Las áreas de acreción se localizan en la zona de muelles al Este de la rada , alcanzando un espesor máximo de 1.5 mts. entre los espigones 1 y 2.

---- La figura 11 revela la predominancia de los procesos acrecionales resultantes del incremento en la precipitación pluvial durante el episodio II. Durante este período la zona de estabilidad ha reducido su área considerablemente y se ha recorrido hacia la entrada al puerto. Se observa el desarrollo de tres lóbulos acrecionales en la zona Este del puerto ; el primero de ellos, en la desembocadura del Arroyo Ensenada ; el

segundo es producto del ya existente entre los espigones 1 y 2 originado , al igual que el tercer lóbulo al Sur del espigón 1 , por el material acarreado por las corrientes a lo largo de la costa. La zona de muelles ha experimentado un azolvamiento y la zona del canal , aunque en menor grado , se ha azolvado uniformemente. Las zonas de erosión son relativamente pequeñas pudiendo ser producidas por efectos de difracción entre los espigones.

---- La figura 13 muestra los efectos del episodio III con el máximo de precipitación pluvial. Para este lapso la acreción ocurrió en toda la rada portuaria , no existiendo zona de estabilidad. El área de los astilleros es la única zona de erosión debido al dragado en las obras del Sincro-Elevador.

En la zona Este se observa la evolución de un delta a partir del primer y segundo lóbulo acentuando la influencia del Arroyo Ensenada , donde alcanza un espesor máximo de 3 mts. de sedimento depositado. Se aprecia también el avance del tercer lóbulo hacia el interior de la rada , según el comportamiento de la isoclinea de 1 mts.

---- En la figura 15 , perteneciente al episodio IV , vuelve a aparecer una amplia zona de estabilidad que incluye áreas de leve erosión. El aporte del Arroyo

Ensenada , aunque en menor proporción , ha extendido su zona de influencia hacia el Sur del espigón 2 y al centro de la rada , observándose erosión en la parte SE de la rada. Durante este episodio es obvia la influencia del espigón El Gallo puesto que aparece una zona de erosión en lugar del tercer lóbulo acrecional , sobreponiéndose el aporte del Arroyo Ensenada. Debe tomarse en cuenta que aunque la deriva litoral fué interrumpida , el promedio de precipitación fué relativamente alto.

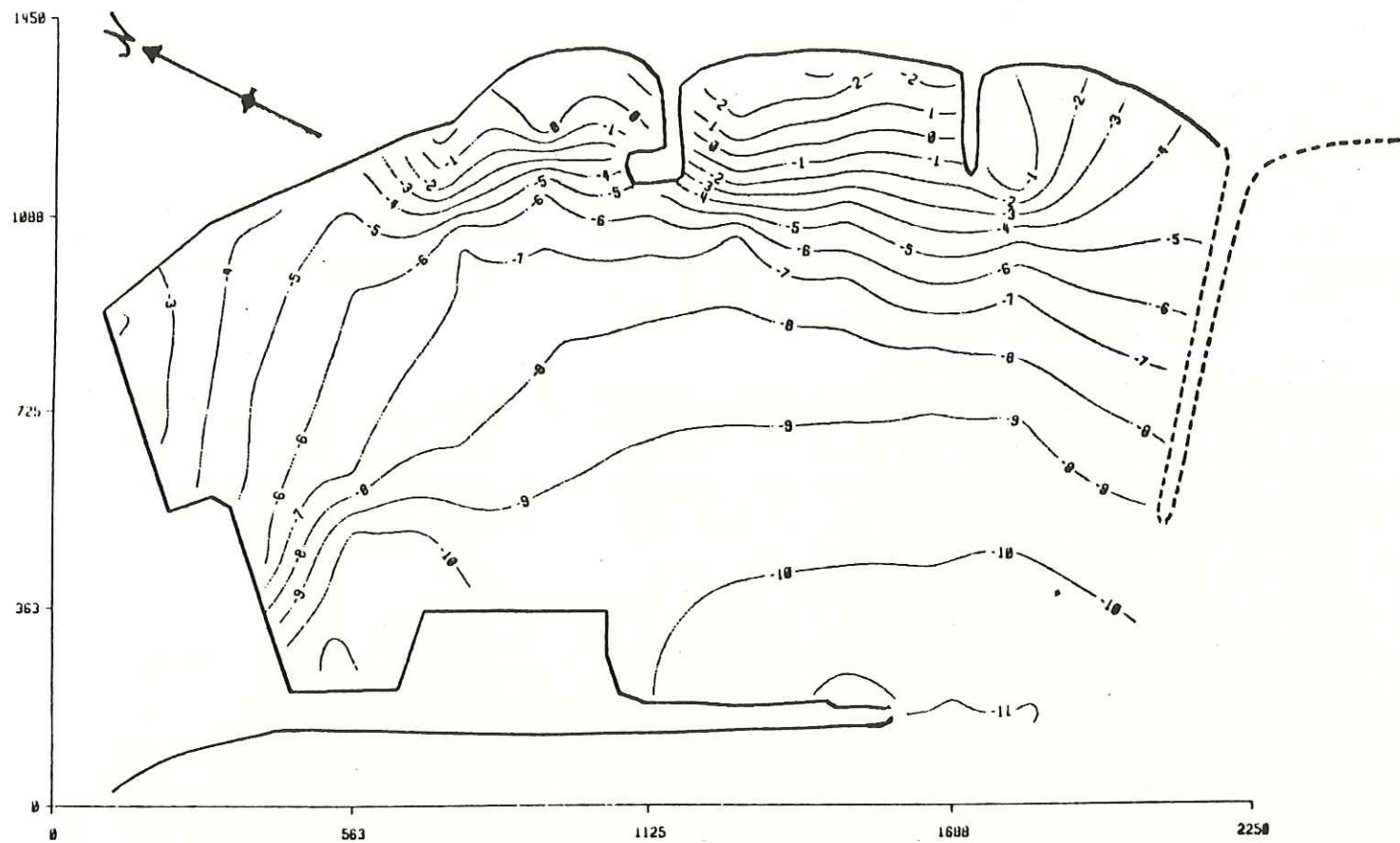


FIGURA 8.- MAPA BATIMETRICO PARA 1967.

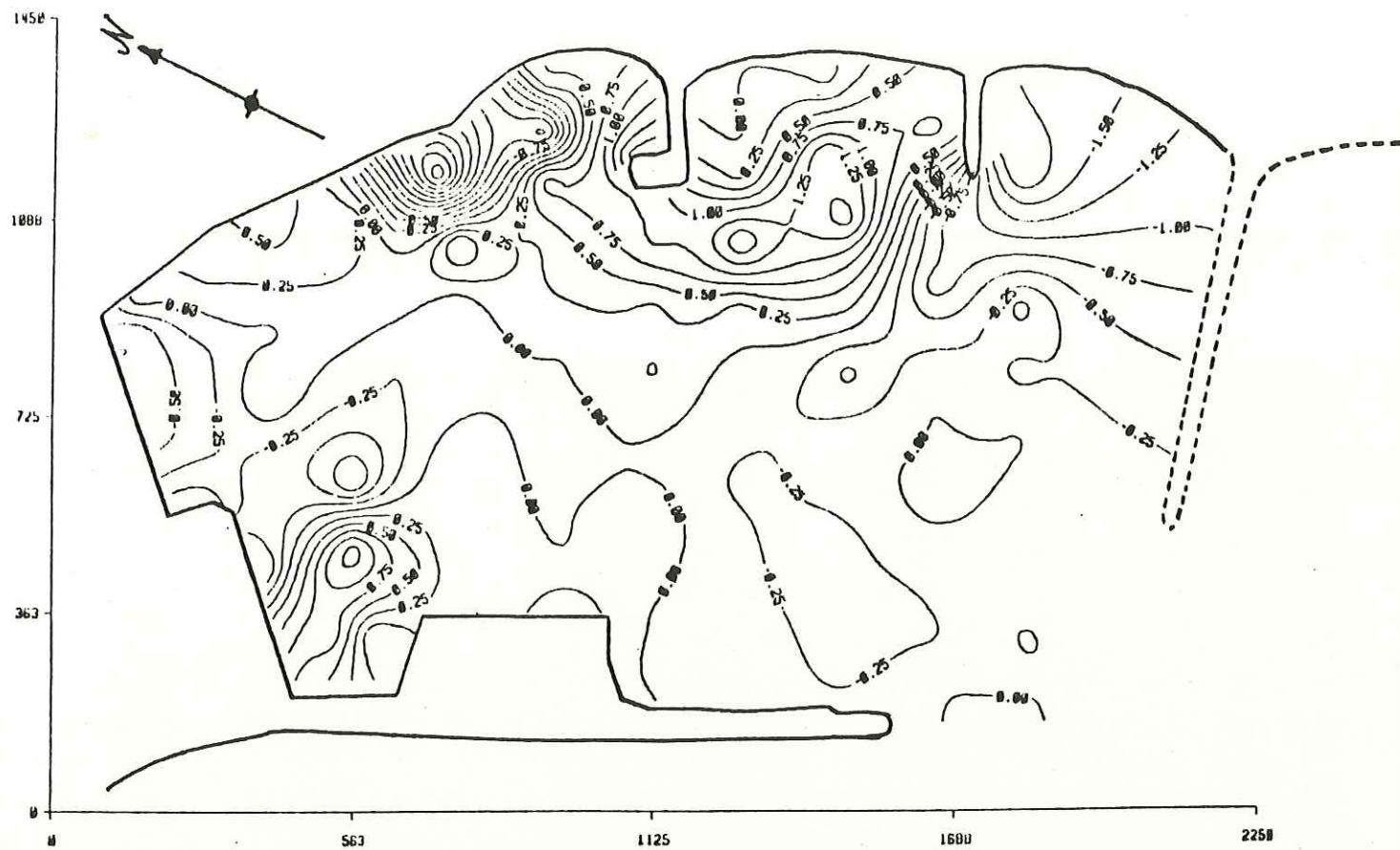


FIGURA 9.- MAPA DE DIFERENCIAS 1967-1975.

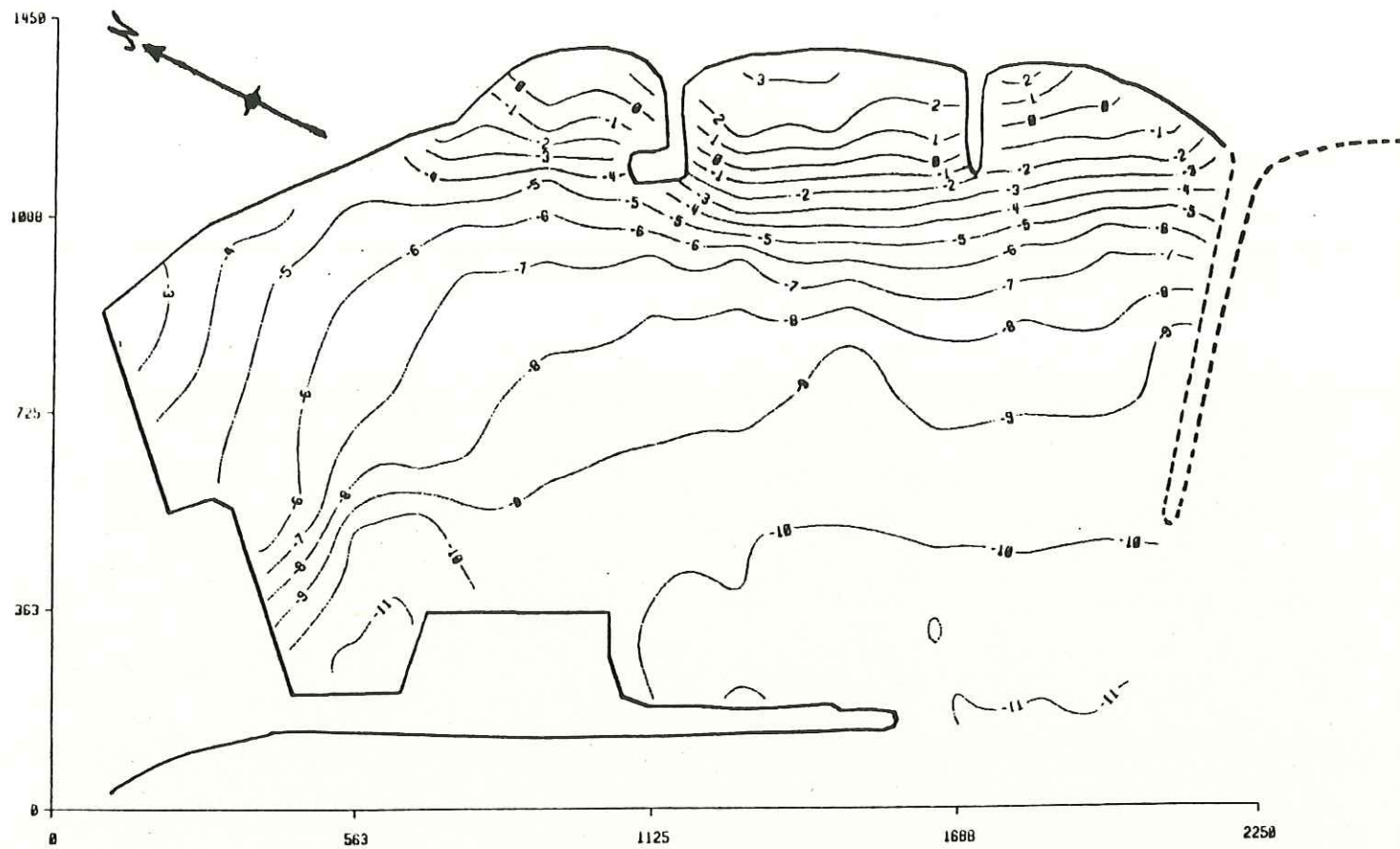


FIGURA 10.- MAPA BATIMETRICO PARA 1975.

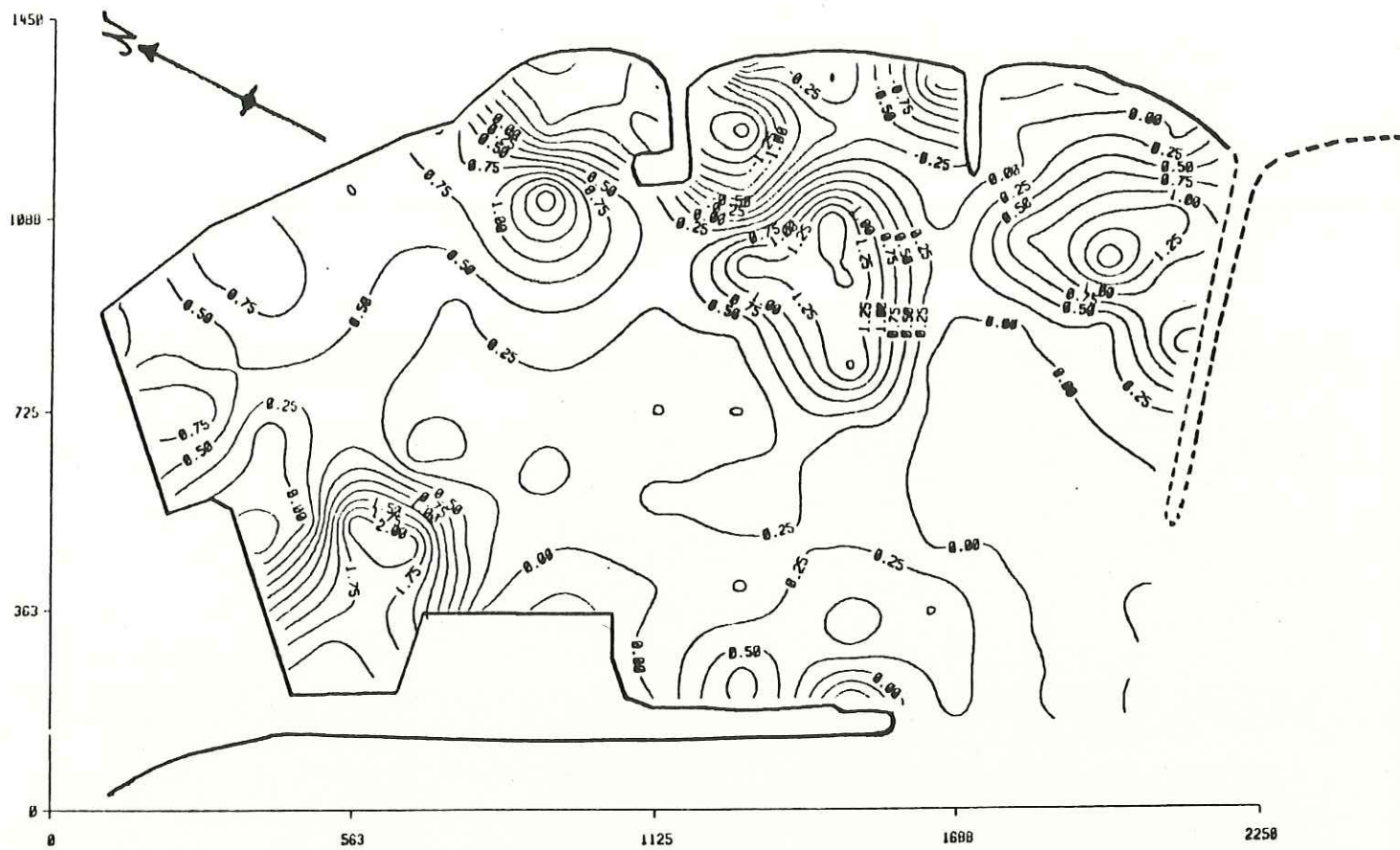


FIGURA 11.- MAPA DE DIFERENCIAS 1975-1978.

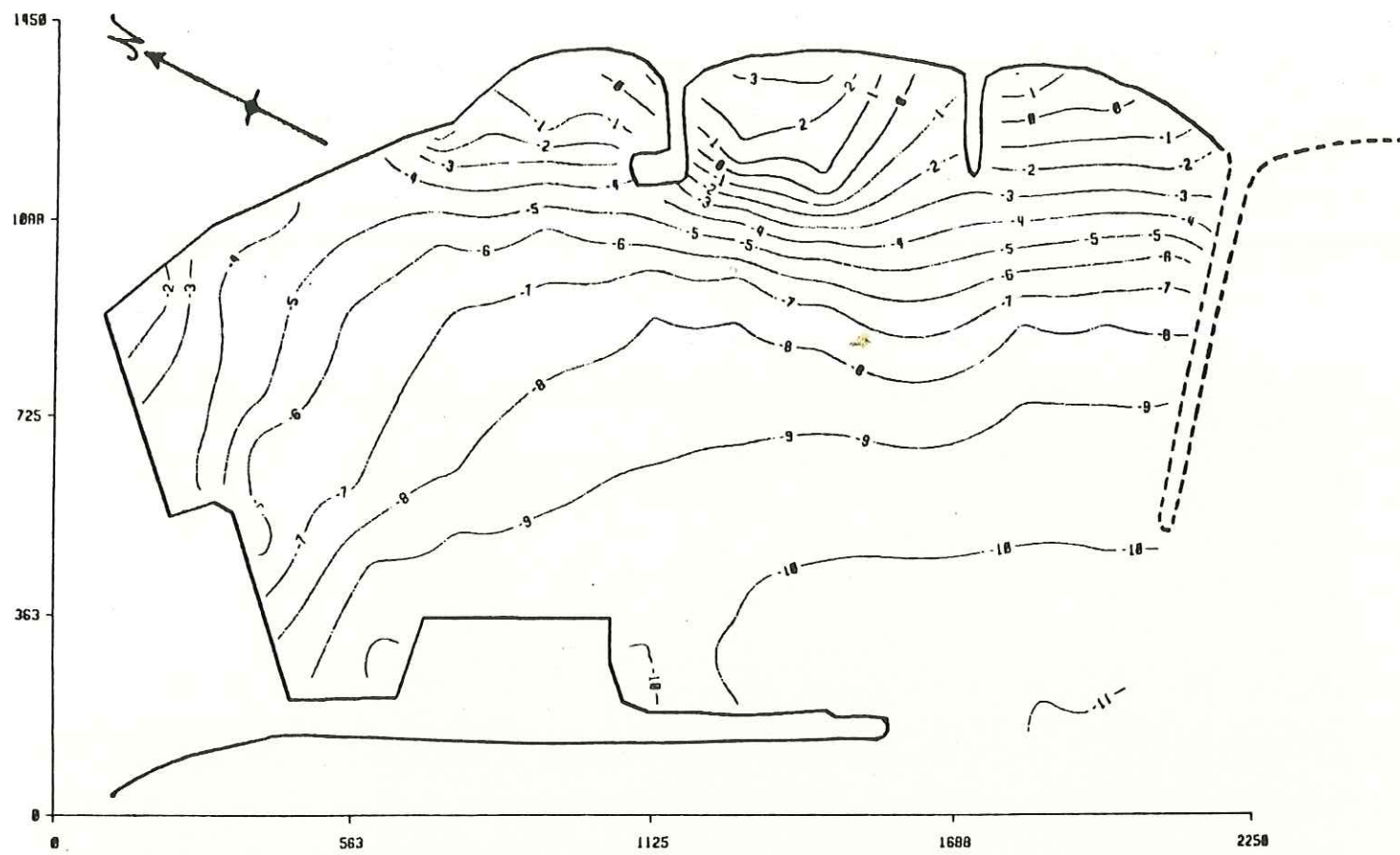


FIGURA 12.- MAPA BATIMETRICO PARA 1978.

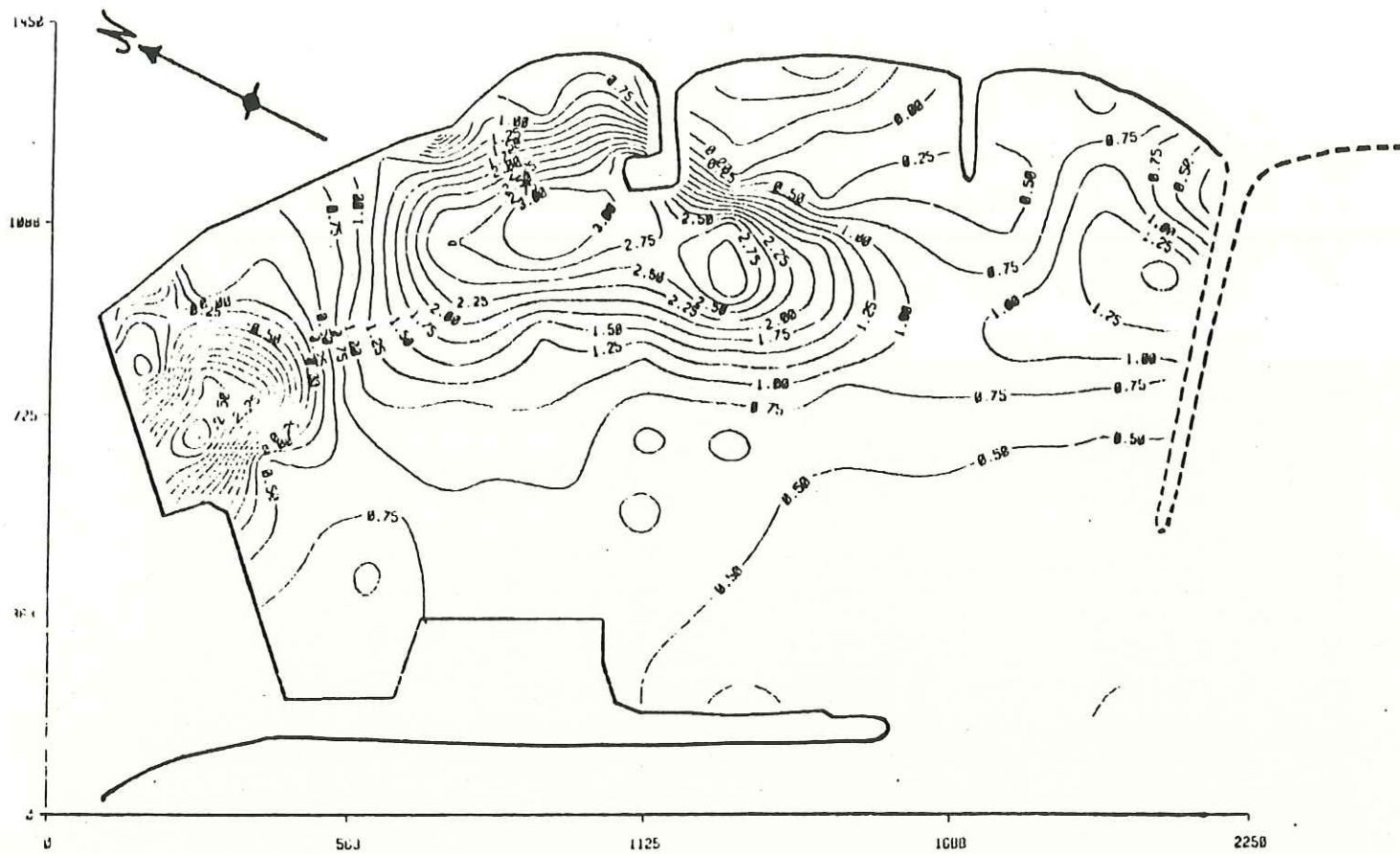


FIGURA 13.- MAPA DE DIFERENCIAS 1978-1981.

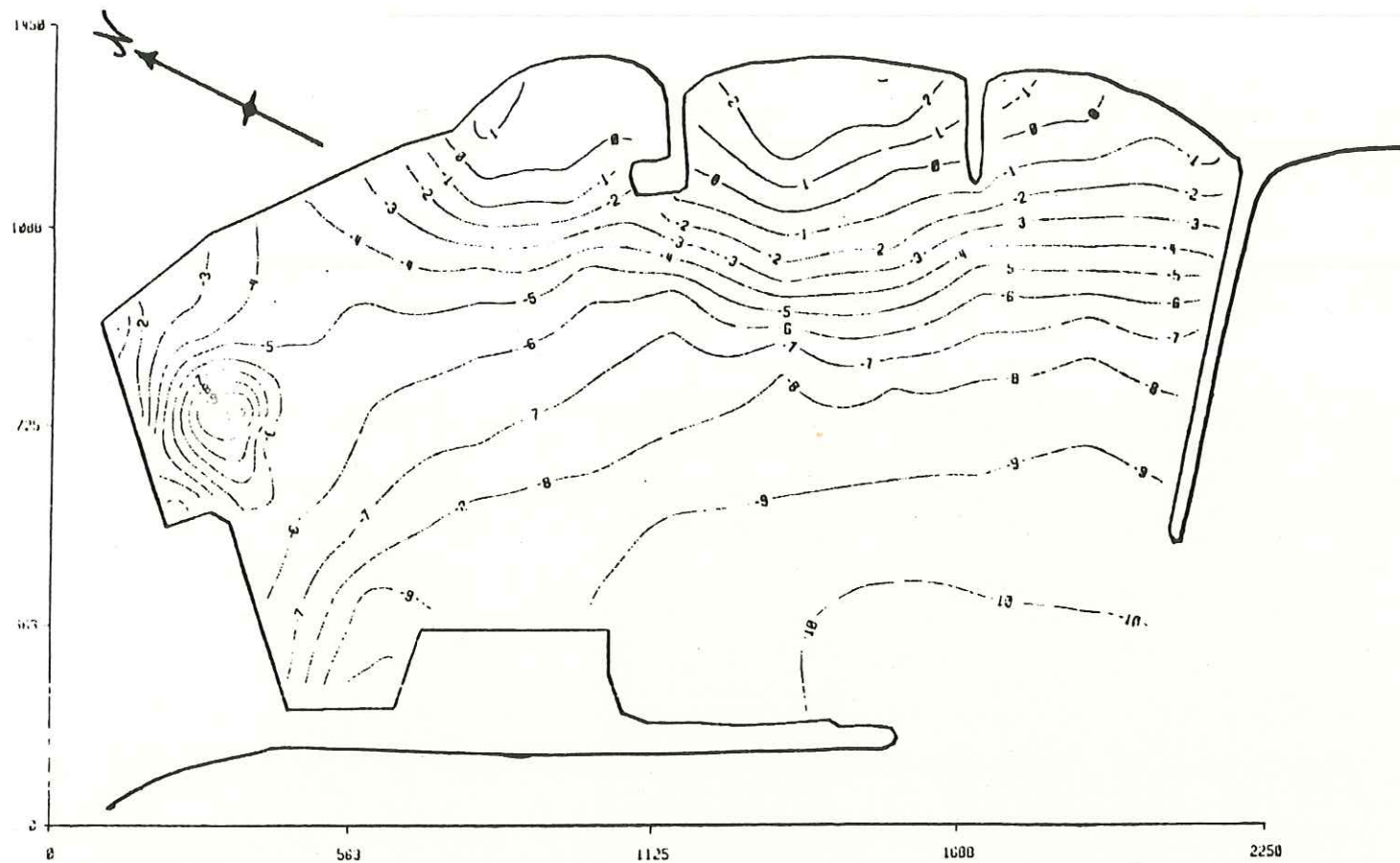


FIGURA 14.- MAPA BATIMETRICO PARA 1981.

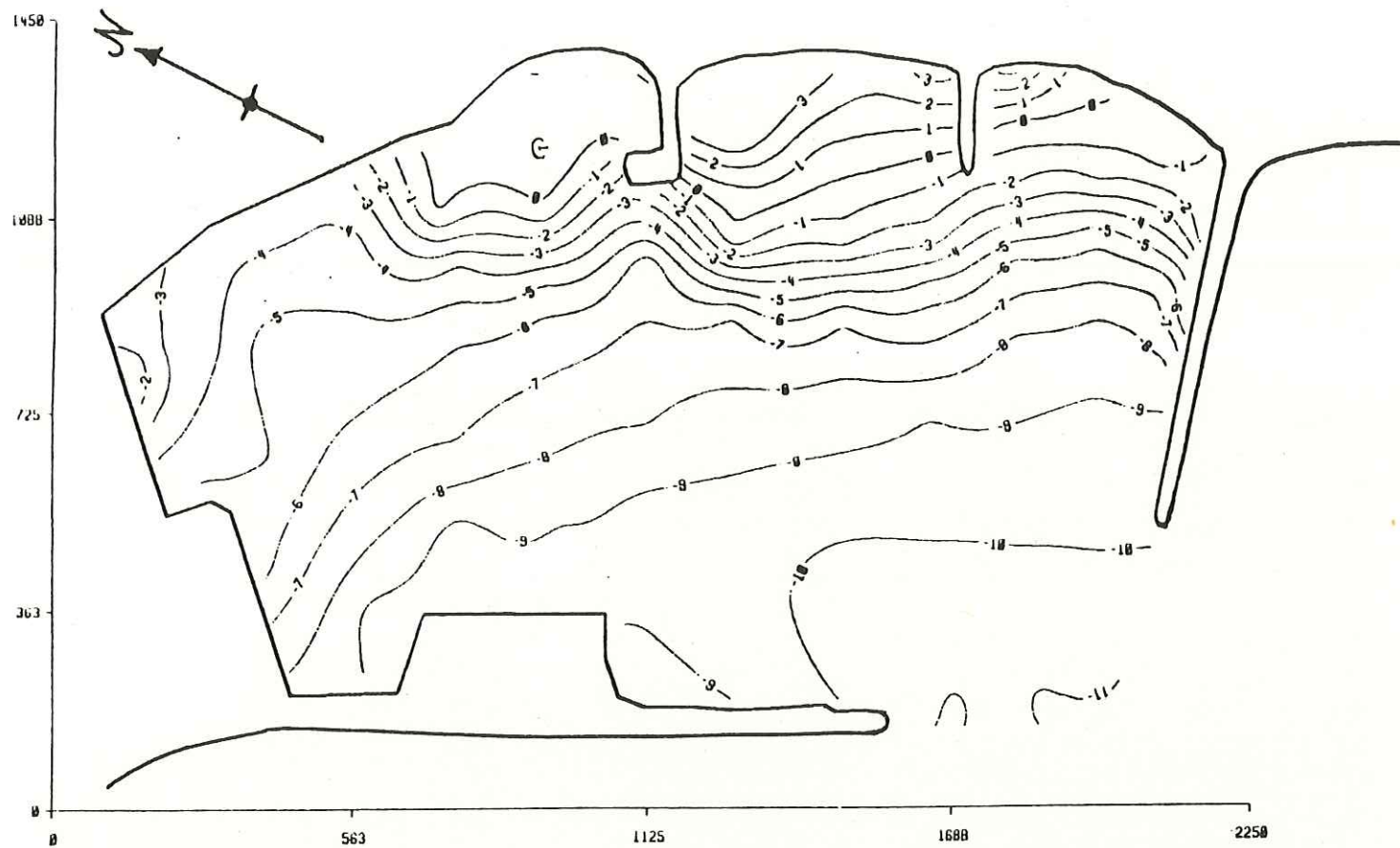


FIGURA 16.- MAPA BATIMETRICO PARA 1983.

9.- CONCLUSIONES.

9.1- DEL METODO.

La metodología propuesta resultó práctica y aplicable en el monitoreo de azolvamiento en puertos. Además de ser adecuada para su implementación a sistemas computarizados.

El método presentó las siguientes ventajas :

i) Reduce a solo tres el número de variables observadas en el campo , siendo estas de fácil medición y con instrumental no muy sofisticado. Esto le atribuye ventajas sobre los métodos tradicionales como por ejemplo los empleados por Noda(1966) y Magoon(1978).

ii) Permite el uso directo de los datos adquiridos en el campo , esto es que se puede prescindir del trabajo sobre planos batimétricos haciendo más confiables los resultados. Esto es una ventaja sobre el Método Hipsométrico , el cual se basa en el análisis de mapas ya elaborados a partir de los datos de campo.

iii) La metodología engloba características cuantitativas y cualitativas , permitiendo de esta manera conocer la cantidad y la zona donde el sedimento debe ser

dragado, además de permitir la visualización del estado actual de la batimetría del puerto.

iv) Debido a su potencialidad a ser implementado en sistemas computarizados , el método es rápido y seguro, economizando tiempo y esfuerzo.

9.2- DEL AREA DE ESTUDIO.

Respecto a la aplicación del método a la zona de estudio , se corroboró la conclusión propuesta por Gómez-Morín(1982) sobre un azolvamiento progresivo del Puerto de Ensenada a partir de 1967 , viéndose afectado todo el puerto en general.

Durante el intervalo comprendido entre 1967 y 1983 la rada recibió un total de 2,143,364.00 m³ , la figura 17 muestra el patrón de depositación a lo largo de este lapso de tiempo. De esto se concluye que en general existen cuatro zonas principales de acreción en la rada:

La primera de ellas está ubicada en la desembocadura del Arroyo Ensenada formando, en combinación con la segunda , que se localiza entre los espigones 1 y 2 , una estructura deltaica que experimenta un alineamiento en sentido Sur-Norte producido por el patrón de circulación costera de la zona , ver figura 2.

La primera zona está relacionada con el aporte terrígeno del Arroyo Ensenada , mientras que la segunda con el colmatamiento de los espigones por la deriva litoral , alcanzando ambas niveles superiores a los tres metros de espesor.

La tercera zona acrecional se encuentra en el área del muelle de cabotaje alcanzando espesores del orden de los tres metros. Esta zona puede ser el resultado de un entrapamiento de material , principalmente limos y arcillas , proveniente del arroyo y transportados en suspensión por un giro contrasolem del mismo patrón de circulación. La cuarta zona incluye una porción del canal de navegación , muelle de altura y la parte Sur del rompeolas . Su rango de acreción es menos severo y es posiblemente el material sobrante del entrapamiento anterior.

Por otra parte , se confirmó lo establecido por Caldwell(1950) referente a que en los puertos que se localizan en la línea de costa , como es el puerto de Ensenada , la sedimentación resulta principalmente de la deriva litoral debida a la incidencia oblicua del oleaje y de las corrientes a lo largo de la costa , y que en ocasiones también es producto de la descarga de material por parte de rios ó arroyos estacionales que desembocan directamente al puerto, viéndose esto reflejado en la relación directa existente entre volumen de sedimento y precipitación pluvial así como también en el decremento en sedimentación posterior a la construcción del espigón El Gallo , cuya efectividad se ha ratificado.

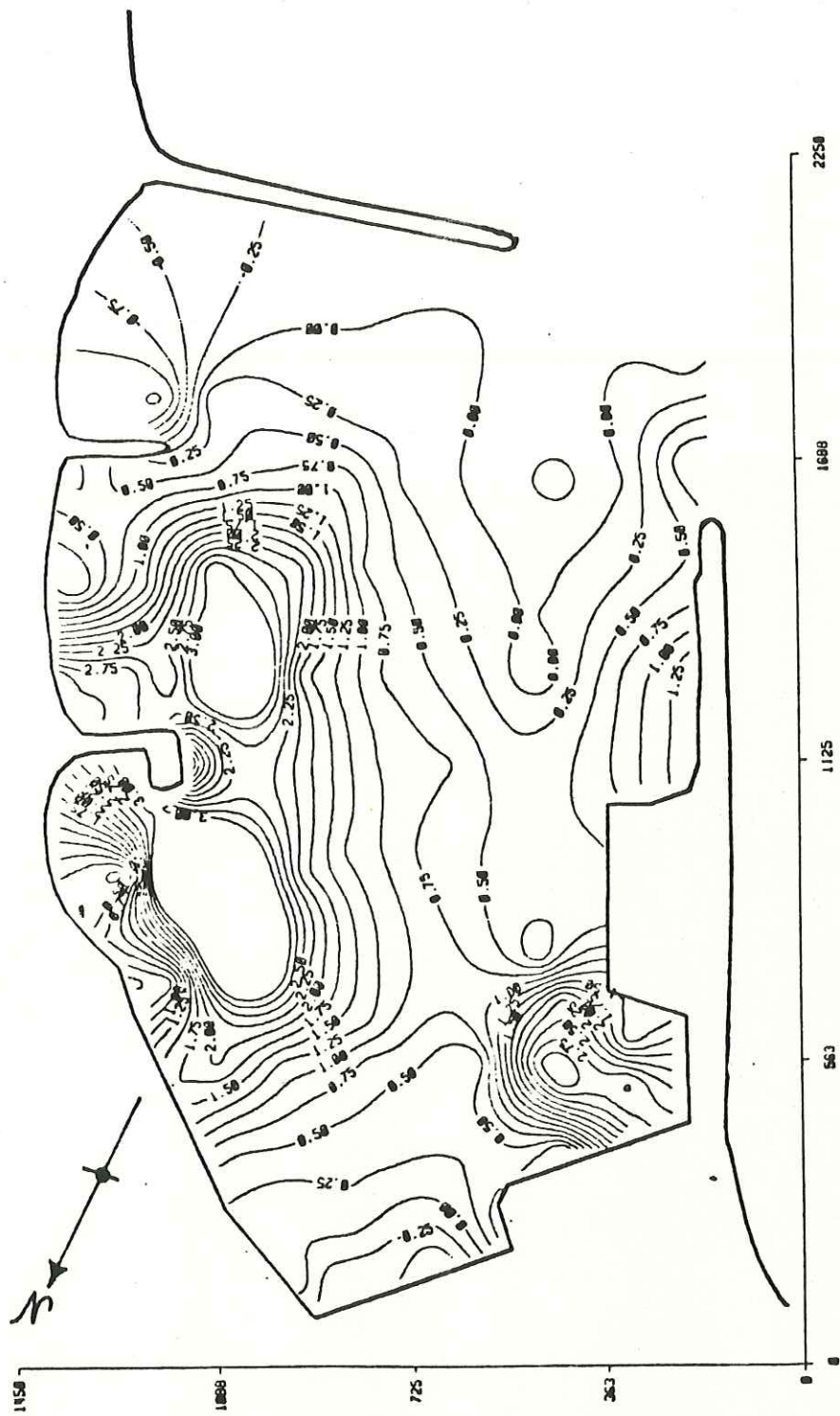


FIGURA 17.- PATRON DE ACRECION GLOBAL ENTRE 1967 Y 1983.

10.- BIBLIOGRAFIA.

Aranda, M.F.J., (1983): ESTUDIO DE MINERALES PESADOS COMO TRAZADORES DE LA CORRIENTE LITORAL EN LA BAHIA DE TODOS SANTOS, B. C. , Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Ensenada B. C. , México. (No publicado)

Caldwell, J.M., (1950): SEDIMENTATION IN HARBORS., En : Applied Sedimentation, Trask, P. D. Editor. John Willey & Sons, New York. p 707.

Davis, J.C., (1973): STATISTICS AND DATA ANALYSIS IN GEOLOGY., John Willey & Sons, New York. p 549.

Gómez-Morín, F.L., (1982): ANALISIS HIPSONOMETRICO DEL PUERTO DE ENSENADA , B. C. , Ciencias Marinas, Vol. 8, No. 2, pp 7-24.

González, Y.O.E., (1981): TRANSPORTE EOLICO EN UNA PORCION DE PLAYA DE LA BAHIA DE TODOS SANTOS, BAJA CALIFORNIA., Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Ensenada B. C., México. (No publicado)

Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO), ESCM, (1967):
ESTUDIO OCEANOLOGICO DE LA BAHIA DE TODOS SANTOS, B. C.,
Parte I: Observaciones Oceanológicas Sobre una Sección
Eulitoral. (No publicado)

Ippen, A. T., (1966): ESTUARY AND COASTAL HYDRODYNAMICS., Mc.
Graw Hill, New York, p. 480.

John, E. J., (1974): GEOMORPHOLOGICAL STUDIES OF THE ESTUARY OF
RIVER NETRAVATI NEAR MANGALORE., Proc. 14th Coast. Eng.
Conf. Vol. II, pp 1304-1318.

Johnson, J. W. (1970): SEASONAL BOTTOM CHANGES, BOLINAS BAY,
CALIFORNIA., Proc. 12th Coast. Eng. Conf. Vol. II, pp
1383-1396.

Lizarraga, A. J. R., (1976): VARIACIONES ESTACIONALES DE LA PLAYA
EN LA BAHIA DE TODOS SANTOS, BAJA CALIFORNIA., Ciencias
Marinas, Vol. 3, No. 1, pp 30-50.

Magoon, O. T., (1978): MAINTENANCE OF SANTA CRUZ HARBOR,
CALIFORNIA USA., Proc. 16th Coast. Eng. Conf. Vol.
II, pp 1276-1281.

Méndez, A.M.A., (1982): DETERMINACION DEL TRANSPORTE LITORAL PREDOMINANTE EN LA BAHIA DE TODOS SANTOS, BAJA CALIFORNIA., Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Ensenada B. C., México. (No publicado)

Noda, H., (1966): MODEL STUDY ON THE FILLING-UP OF A FISHERY HARBOR BY DRIFTING SAND., Proc. 10th Coast. Eng. Conf. Vol. I, pp 564-594

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 1301-1319.

Spiegel, M.R., (1961): STATISTICS., Mc. Graw Hill, New York , p 357.

U.S. Army Coastal Engineering Research Center, (1975): SHORE PROTECTION MANUAL., Vol I-II, Department of the Army Corps of Engineers.