

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

QUANTITATIVE AND QUALITATIVE ESTIMATION OF SHOALING IN ENSENADA HARBOR, B.C., MEXICO

Jorge Torres Rodríguez ¹
Lorenzo Gómez-Morín Fuentes ²

¹ Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones
Centro de Investigación Científica y
de Educación Superior de Ensenada
Av. Espinoza 843
Ensenada, Baja California, México

² Facultad de Ciencias Marinas
Universidad Autónoma de Baja California
Apartado Postal 453
Ensenada, Baja California, México

Torres Rodríguez, J. y Gómez-Morín Fuentes, L. Estimación cuantitativa y cualitativa del azolvamiento en el puerto de Ensenada, B.C., México. Quantitative and qualitative estimation of shoaling in Ensenada Harbor, B.C., Mexico. *Ciencias Marinas*, 15(4):39-50, 1989.

RESUMEN

Uno de los principales problemas en ingeniería portuaria es la cuantificación del azolvamiento en puertos costeros, lo anterior 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 trabajo 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 azolve y erosión. Su aplicación se efectuó en el puerto de Ensenada, Baja California, México, y los resultados mostraron un azolvamiento progresivo entre los años 1967 y 1983, alcanzando un máximo entre 1978 y 1981, determinándose su origen a partir de los arroyos vecinales y a la deriva litoral.

El método presentó algunas ventajas sobre otros como el análisis hipsométrico, además de ser apropiado para su implementación en sistemas computarizados.

ABSTRACT

One of the principal problems in port design and maintenance is the shoaling estimation in coastal harbors, in order to evaluate the economic impact caused by dredging and to guarantee safety in the navigation channel and related areas. Usually this measurement has been made by inferring the littoral drift in the adjacent beaches.

This paper proposes a methodology by means of which the shoaling can be estimated based on cubication under a least squares plane, as well as being complemented with a qualitative analysis which allows the visualization of the harbor areas that are under erosion or shoaling. This methodology was used in Ensenada Harbor, in Baja California, Mexico, and the results show a progressive shoaling between 1967 and 1983, reaching a maximum between 1978 and 1981, caused by river input and littoral drift.

The method showed some advantages with respect to the Hypsometric Analysis, in addition to being more appropriate for use in computer systems.

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 de la actualidad.

En la mayoría de los puertos se ha incrementado artificialmente la profundidad, sin embargo, la tendencia de las fuerzas naturales a restaurar las profundidades originales provoca el azolve de sus dársenas. El mantenimiento de estos puertos 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 material para evaluar el impacto económico debido al dragado del canal de navegación y del puerto en general.

ANTECEDENTES

La problemática de azolvamiento ha sido estudiada por varios autores, entre los que se pueden mencionar los trabajos de Noda (1966), Sato e Irie (1970), Johnson (1970), John (1974), Magoon (1978), USACERC (1975), en donde generalmente las técnicas empleadas se relacionan con el cálculo de la deriva litoral a partir de parámetros oceanográficos.

Ippen (1966) señala que en el puerto de Ensenada, B.C., para el año de 1955 se observó un realineamiento de la línea de costa dentro de la rada en su región este, debido al transporte litoral hacia el interior del puerto. En un reporte del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (1967) se hace notar que los

INTRODUCTION

Ports and their infrastructure are important in the economic development of nations because of the role they play in trade. Ports function as entry and departure points for raw materials and consumer goods and shipping is one of the most economical forms of transport.

The depth of most harbors has been artificially increased. However, natural forces tend to restore harbors to their original depths thus causing shoaling of the docks. The maintenance of these harbors requires the quantification, as accurate as possible, of the sediment deposited, as well as the knowledge of the transport and deposition patterns of material in order to assess the economic impact due to the dredging of the navigation channel and of the harbor in general.

ANTECEDENTS

The problem of shoaling has been studied by several authors, among which the works of Noda (1966), Sato and Irie (1970), Johnson (1970), John (1974), Magoon (1978) and USACERC (1975) can be mentioned. The techniques generally used in these studies are related to the calculation of the littoral drift from oceanographic parameters.

Ippen (1966) indicates that in Ensenada Harbor, Baja California, a realignment of the eastern shoreline was observed in 1955, due to the littoral transport towards the inner harbor. In a report by the Instituto de Investigaciones Oceanológicas (1967) it is noted that the jetties protecting the harbor stop the transportation of sediments from south to north produced by the diffraction of waves, but do not allow the terrigenous sediment from the Arroyo Ensenada to be carried towards the south. Subsequently, Lizárraga

espigones de protección al puerto, cumplen con su misión al retener el acarreo de sedimentos de sur a norte, producido por la difracción del oleaje, pero no permiten la salida hacia el sur del sedimento terrígeno aportado por el Arroyo Ensenada. Posteriormente, Lizárraga (1976) confirma el papel que juegan los espigones de protección al detener la deriva litoral, evidenciado por el avance en la línea de costa hacia el mar entre 1961 y 1971. Gómez-Morín y Lizárraga (1982) señalan la importancia que tiene el aporte terrígeno del Arroyo Ensenada, y mediante el análisis hipsométrico concluyen que existe un azolvamiento progresivo desde 1967 a 1981, con un incremento notable a partir de 1978.

El presente trabajo tiene como objetivo el determinar el volumen de sedimento depositado o erosionado en el interior del puerto de Ensenada, utilizando métodos de regresión múltiple, así como identificar las zonas donde predomina el azolvamiento por medio de técnicas de comparación de mapas.

DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

El puerto de Ensenada está ubicado a los 116°37'30" oeste y a los 31°51'30" norte. Se localiza en la costa oeste de la Península de Baja California, aproximadamente a 100km al sur de la frontera México-EUA y sobre la margen noreste de la Bahía de Todos Santos.

Es un puerto de altura que cuenta con un área aproximada de 2km². En su región oeste está protegido por un rompeolas conectado a la costa construido de enrocamiento y que se inicia en Punta Ensenada prolongándose con dirección sureste hacia mar adentro (Fig. 1). Limita al norte con playas predominantemente rocosas intercaladas con algunas playas de bolsillo donde el material va desde arenas hasta 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, turísticos y yates deportivos.

METODOLOGIA

(1976) confirmed the role played by the jetties in halting the littoral drift which is demonstrated by the advance of the coastline towards the sea between 1961 and 1971. Gómez-Morín and Lizárraga (1982) indicate the importance of the terrigenous contribution made by the Arroyo Ensenada, and through a hypsometric analysis they concluded that progressive shoaling existed from 1967 to 1981, with a considerable increase from 1978.

The objective of this study is to determine the volume of sediment deposited or eroded in the inner part of Ensenada Harbor using methods of multiple regression, as well as to identify the zones where shoaling predominates by means of map comparison techniques.

DESCRIPTION OF THE STUDY AREA

The port of Ensenada is located 116°37'30" West and 31°51'30" North. It is situated on the western coast of the Peninsula of Baja California, approximately 100km south of the Mexico-USA border and on the northeastern margin of Todos Santos Bay.

The harbor has an approximate area of 2km². To the west it is protected by a breakwater built of rocks and connected to the coast, beginning in Punta Ensenada and extending in a southeastern direction out to sea (Fig. 1). To the north it borders on predominantly rocky beaches, intercalated with some pocket beaches where the material ranges from sand to pebbles. To the south it adjoins an extensive sandy and straight beach; a seasonal stream called El Gallo flows into the bay in its proximity. From the east it receives the intermittent discharges of the Arroyo Ensenada while the docks are in the northern zone.

The port of Ensenada offers facilities to cargo vessels, fishing boats, cruise ships and yachts.

METHODOLOGY

The methodology used is based on cubication under a least squares regression plane and the comparison of volumes through the passage of time in order to quantify the net amount of sediment deposited or eroded in the inner harbor.

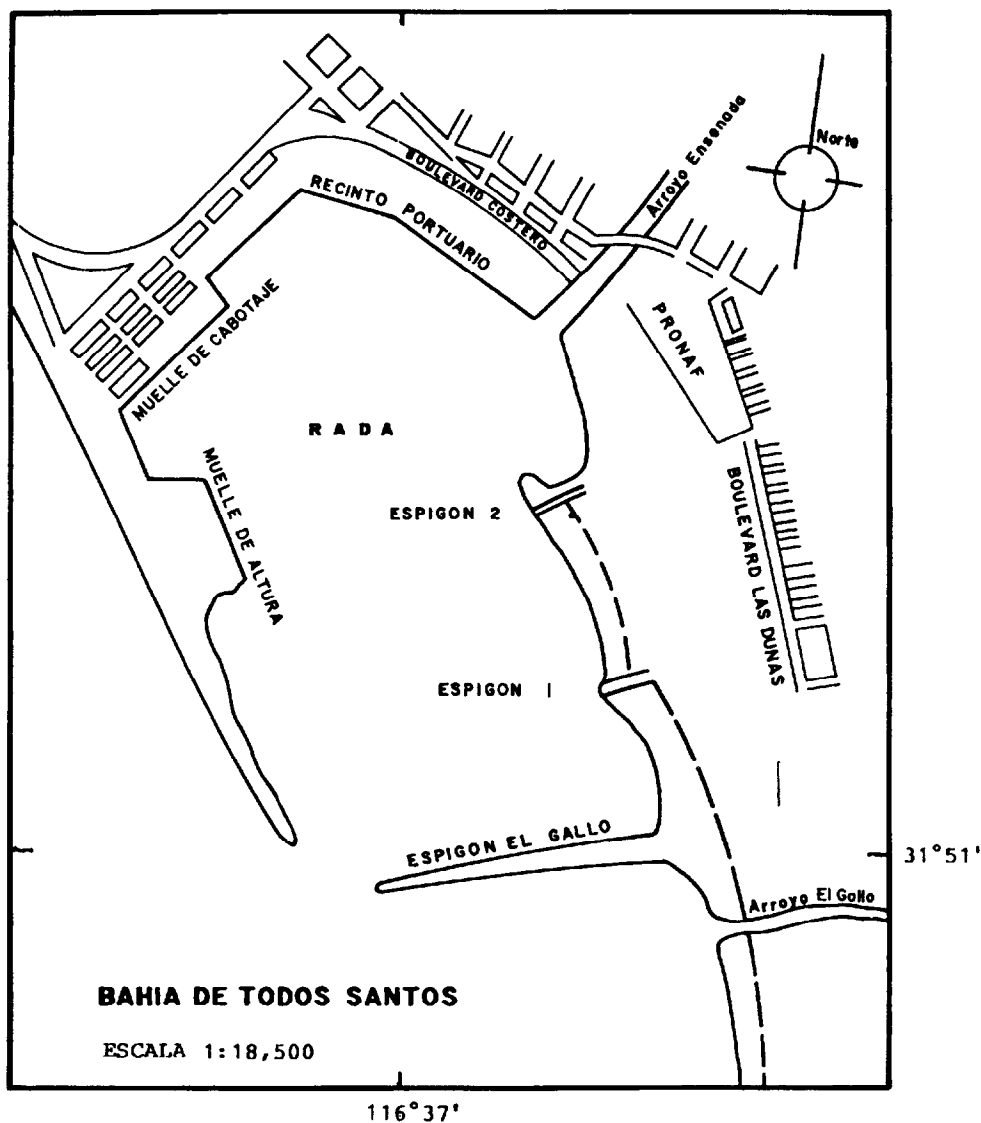


Figura 1. Configuración actual del puerto de Ensenada, B.C. (modificado de Lizárraga, 1976).
Figure 1. Present configuration of Ensenada Harbor, B.C. (modified from Lizárraga, 1976).

La metodología empleada se basa en la ubicación 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 o erosionado en el interior de la rada.

Con el fin de visualizar los patrones de sedimentación, diferenciando las zonas esta-

Maps were compared in order to visualize the sedimentation patterns, differentiating the stable zones from those where shoaling or erosion predominate.

The regression method was adapted from that proposed by Spiegel (1961). A relationship can exist between variables X, Y

bles de aquellas donde predomina el azolvamiento o la erosión, se hace uso de la comparación de mapas.

El método de regresión se adecuó a partir del propuesto por Spiegel (1961). Puede existir una relación entre las variables X, Y y Z que puede estar dada por la ecuación lineal:

$$Z = \alpha_0 + \alpha_1 X + \alpha_2 Y \quad (1)$$

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

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

$$dZ = \alpha_0 N + \alpha_1 dX + \alpha_2 dY$$

$$dXZ = \alpha_0 dX + \alpha_1 dX^2 + \alpha_2 dXY \quad (2)$$

$$dYZ = \alpha_0 dY + \alpha_1 dXY + \alpha_2 dY^2$$

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 (α_0) relacionado con el promedio de las alturas, más una componente este-oeste (α_1) y una componente norte-sur (α_2). De esta manera la ecuación (1) representa el plano de regresión de Z sobre X y Y, y la relación

$$Z = \alpha_0 + \alpha_1 X + \alpha_2 Y$$

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

and Z which may be expressed by the linear equation:

$$Z = \alpha_0 + \alpha_1 X + \alpha_2 Y \quad (1)$$

In a three-dimensional rectangular coordinate system, this equation represents a plane and the sampling points $(X_1, Y_1, Z_1), (X_2, Y_2, Z_2), \dots (X_n, Y_n, Z_n)$ might not be too distant from this plane which is called "least squares plane of approximation to the data".

The normal equations corresponding to the least squares plane are given by:

$$dZ = \alpha_0 N + \alpha_1 dX + \alpha_2 dY$$

$$dXZ = \alpha_0 dX + \alpha_1 dX^2 + \alpha_2 dXY \quad (2)$$

$$dYZ = \alpha_0 dY + \alpha_1 dXY + \alpha_2 dY^2$$

Solving the system of equations (2) the values of the constants which satisfy (1) are obtained.

Assuming that the variables X and Y represent the east-west and north-south geographic coordinates respectively, and the variable Z the heights, equation (1) would be a linear function with a constant value (α_0), which is related to the average of the heights, plus an east-west component (α_1) and a north-south component (α_2). In this way, equation (1) would represent the regression plane of Z over X and Y, and the relation

$$Z = \alpha_0 + \alpha_1 X + \alpha_2 Y$$

would give the estimated values over the least squares plane associated with the data.

If the values over this plane are calculated and subtracted to the corresponding observation points, the resultant collection of numbers (i.e. the deviations) would have a mean equal to zero, that is

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:

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

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

En base a este razonamiento se puede argumentar que los cuerpos esquematizados en las Figuras 2a y 2b 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 2c. Para una información más detallada el lector puede referirse a Spiegel (1961).

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

En 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 de una red a la otra. La configuración de la red resultante será un mapa de isopacas que revelará las zonas de erosión o de azolvamiento. Información más detallada puede encontrarse en Davis (1973).

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

inferring from this that the weight of the deviations over and below the plane are equivalent.

Based on this reasoning it could be argued that the schematized bodies in Figures 2a and 2b have the same volume, since the latter is the response surface of the data obtained from the former. The relationship between these two bodies is shown graphically in Figure 2c. More detailed information can be found in Spiegel (1961).

The simplest possible map comparison that can be made is between two maps of the same type of variable and in the same region. If the observations were made at points common to both maps, the difference between the two sets of data can be found directly and then traced.

In the present study, the variables are of the same type and have been measured in the same region. However, the observations have not been made at the same points for the different times.

One way of solving this problem is by estimating a set of values over a grid of points common to both maps and subtracting point to point from one grid to the other. The configuration of the resulting grid will be an isopach map which will reveal the erosion or shoaling zones. More detailed information can be found in Davis (1973).

The method for obtaining data was the following:

a) Digitalization of the bathymetric charts of Ensenada Harbor, B.C., scale 1:2000, for 1967, 1975, 1978, 1981 and 1983.

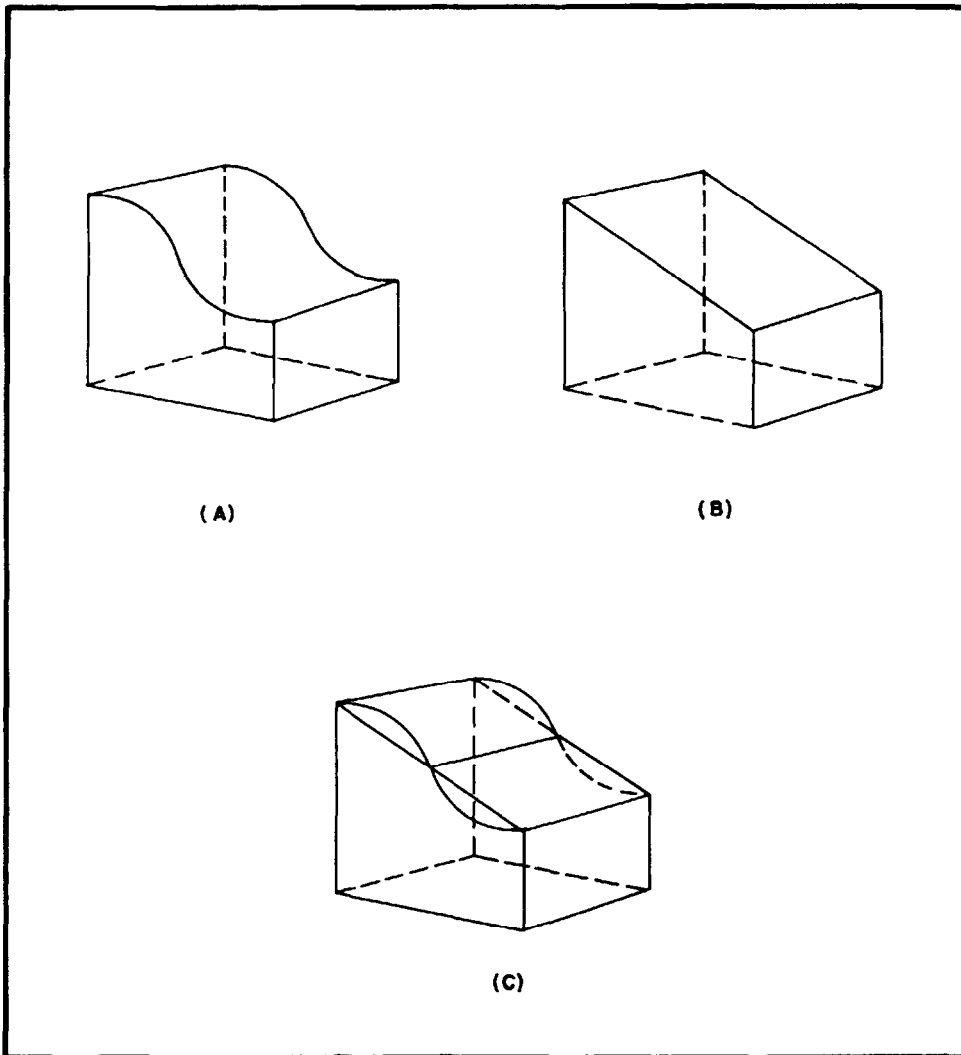


Figura 2. A) Superficie irregular. B) Superficie de respuesta. C) Relación entre una superficie irregular y su correspondiente superficie de respuesta.

Figure 2. A) Irregular surface. B) Response surface. C) Relationship between an irregular surface and its corresponding response surface.

El procedimiento efectuado para la obtención de datos fue el siguiente:

a) Digitalizado de los mapas batimétricos del puerto de Ensenada, B.C., escala 1:2000, para los años 1967, 1975, 1978, 1981 y 1983.

b) Calculation of the volume of sediment within the harbor for each set of data for each interval of time.

c) Preparation of contour maps for the digitalized data and for the difference grids, thus obtaining the bathymetric charts and the difference maps.

b) Cálculo del volumen de sedimento dentro de la rada del puerto para cada conjunto de datos en cada intervalo de tiempo.

c) Preparación de 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.

RESULTADOS Y DISCUSION

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 y Lizárraga (1982), mostrados en la Tabla I. En ella se presentan los episodios de estudio en base a los planos batimétricos disponibles, los volúmenes de sedimento depositados en el puerto, así como los datos de precipitación pluvial promedio.

Es evidente la relación que existe entre la precipitación pluvial y el volumen de sedimento depositado. El clima semiárido de la región se caracteriza por una estación seca (verano) y una estación húmeda (invierno). Durante la primera, la cubierta vegetal se seca y el suelo queda desprovisto de la acción protectora contra la erosión, especialmente con la incidencia de incendios de pastizales en la zona; con las primeras lluvias de invierno, la disponibilidad de detrito intemperizado es alta y el aporte sedimentario a la costa por los arroyos estacionales se incrementa en valores considerables.

Sin embargo, se puede observar que durante el episodio IV, aunque los valores de precipitación están en el promedio, el aporte sedimentario al interior del puerto disminuyó notablemente. La explicación de este hecho, es la reducción considerable de la deriva litoral al haberse construido otro espigón de protección en la playa adyacente al sur del puerto, denominado espigón El Gallo.

La diferencia entre los resultados obtenidos por Gómez-Morín y Lizárraga (1982) es originada en principio por el empleo de métodos diferentes, ya que en el primero el cálculo del volumen de sedimento depositado, depende en gran medida de la habilidad de la persona que calcula el área bajo la curva

RESULTS AND DISCUSSION

In order to establish a frame of reference for the analysis of the results, a comparison has been made with those obtained by Gómez-Morín and Lizárraga (1982), shown in Table I. The study episodes based on the available bathymetric charts, the volumes of sediment deposited in the harbor as well as the average rainfall data are given.

The relation between the rainfall and the volume of sediment deposited is clear. The semiarid climate of the region is characterized by a dry season (summer) and a wet season (winter). During the former, the plant covering dries and the floor is left without protection against erosion, especially with the incidence of pasture fires in the area. With the first winter rains, the availability of detritus is high and the sedimentary contribution to the coast by seasonal streams increases considerably.

However, it can be observed during episode IV, even though the rainfall values are about average, that the sedimentary contribution to the inner harbor decreased notably. The reason for this is the considerable reduction of the littoral drift when another jetty, called El Gallo, was built on the adjacent beach to the south of the harbor.

The difference between the results obtained by Gómez-Morín and Lizárraga (1982) and the present ones is caused in principle by the use of different methods. In the former, the calculation of the volume of sediment deposited largely depends on the person's ability to calculate the area under the hypsometric curve. Another difference is that the area studied by Gómez-Morín and Lizárraga (1982) is only 67% of the area studied in this work. Therefore, the volumes obtained herein are greater.

The difference map shows the erosion or shoaling patterns in the harbor (Fig. 3). Four main shoaling zones can be seen. The first and most evident is located where Arroyo Ensenada flows into the bay, forming along with the second -between jetties 1 and 2- a deltaic-type deposit which has a north-south alignment as a result of the coastal circulation pattern of the zone (Aranda-Manteca, 1983).

Tabla I. Comparación de resultados por hipsometría y regresión.
Table I. Comparison of results through hypsometry and regression.

EPISODIO	AÑOS	VOLUMEN DIFERENCIAL (m ³)		PRECIPITACION PLUVIAL PROMEDIO (mm)
		Hipsométrico	Regresión	
I	1967-1975	315,409	261,434	197.5
II	1975-1978	296,426	353,244	385.5
III	1978-1981	1,242,632	1,483,384	427.3
IV	1981-1983	---	45,302	339.0
GLOBAL	1967-1981	1,854,487	2,098,062	336.8
GLOBAL	1967-1983	---	2,143,364	337.3
AREA DE COBERTURA (m ²)		1,327,478	1,982,065	

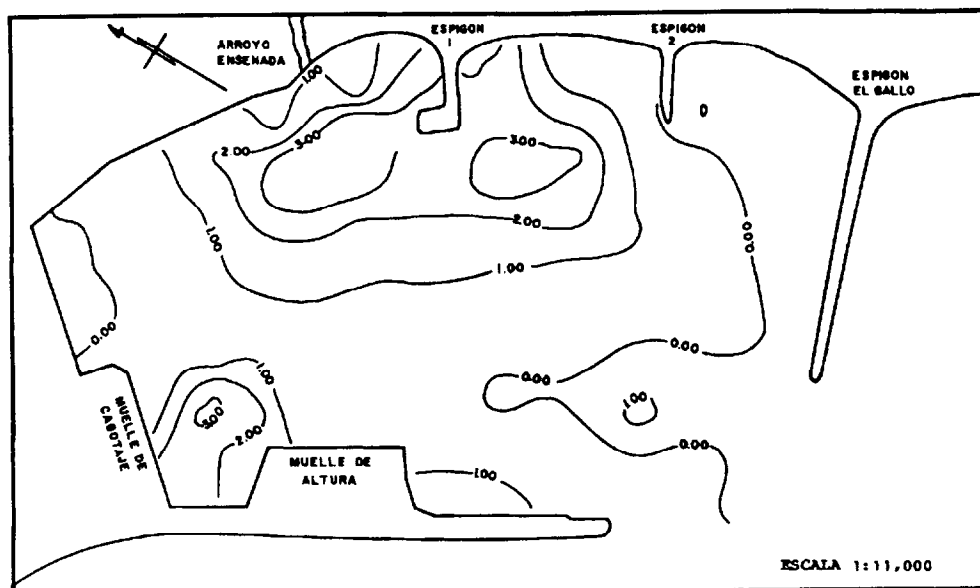


Figura 3. Patrón de acreción global entre 1967 y 1983. Mapa de diferencias en donde los valores representan niveles de azolvamiento en metros de espesor.

Figure 3. Global accretion pattern between 1967 and 1983. Difference map in which the values represent shoaling levels with thickness measured in metres.

hipsométrica. Otra de las diferencias en los resultados es que el área estudiada por Gómez-Morín y Lizárraga (1982) corresponde solamente al 67% del área utilizada en este proyecto, por lo tanto los volúmenes obtenidos en este último son mayores.

El mapa de diferencias muestra los patrones de erosión o azolvamiento en el interior del puerto (Fig. 3). Se puede observar que existen cuatro zonas principales de azolvamiento en la rada portuaria. La primera y la más evidente, está ubicada en la desembocadura del arroyo Ensenada, formando en combinación con la segunda -entre los espigones 1 y 2- un depósito de tipo deltáico que experimenta un alineamiento en sentido norte-sur producido por el patrón de circulación costera de la zona (Aranda-Manteca, 1983). Ambas zonas alcanzan niveles de azolvamiento que superan los tres metros de espesor. La tercera zona de azolve se encuentra en el área del muelle de cabotaje, alcanzando también espesores del orden de tres metros. En este sitio, el azolvamiento es el resultado de la sedimentación de material fino proveniente del arroyo y transportado por un movimiento levógiro en el patrón de circulación. Por último, la cuarta zona incluye parte del canal de navegación, muelle de altura y la parte al sur del rompeolas, con un azolve menos severo, del orden de un metro.

Cabe aclarar que las autoridades portuarias realizan dragados periódicos de los cuales no se pudo obtener la información respectiva. Sin embargo, de acuerdo con lo reportado por Gómez-Morín y Lizárraga (1982), en una operación realizada durante 1978 en la zona de muelles y canal de navegación, se dragó cerca de $140,000\text{m}^3$ de sedimento.

CONCLUSIONES

La metodología empleada presenta las siguientes ventajas:

- a) Reduce el número de variables observadas en el campo cuya medición se puede realizar con equipo sencillo.
- b) Permite el uso directo de los datos de campo, pudiendo prescindir de los planos batimétricos.

Both zones reach shoaling levels which surpass three metres in thickness. The third shoaling zone is located in the area of the docks, also reaching thicknesses of the order of three metres. At this site, the shoaling is the result of sedimentation of fine material from the stream and transported by a levogyrate movement in the circulation pattern. Finally, the fourth zone includes part of the navigation channel, wharf and the southern part of the breakwater, with less severe shoaling, of the order of one metre.

It should be noted that the port authorities carry out periodic dredgings but it was not possible to obtain the respective information. However, according to Gómez-Morín and Lizárraga (1982), nearly $140,000\text{m}^3$ of sediment were dredged in an operation carried out during 1978 in the zone around the docks and navigation channel.

CONCLUSIONS

The methodology used in the present study has the following advantages:

- a) It reduces the number of variables observed in the field and which can be measured with simple equipment.
- b) It allows the direct use of the field data, without having to use bathymetric charts.
- c) The methodology is objective and allows qualitative and quantitative analyses, saving time and effort on being implemented in computer systems.

By using this methodology in Ensenada Harbor, it was possible to corroborate the results obtained by Gómez-Morín and Lizárraga (1982) concerning the shoaling of the harbor as of 1967, as well as determining in a more precise manner the zones where shoaling is most critical.

The problem of littoral drift is partly solved with the construction of the El Gallo jetty. However, no study on diffraction of waves exists for this site which would determine whether the tendency is to create a stable beach or to continue trapping sediments until exceeding the retention capacity of the

c) La metodología es objetiva y permite análisis cualitativos y cuantitativos, economizando tiempo y esfuerzo al ser implementado en sistemas computarizados.

La aplicación de esta metodología al puerto de Ensenada, permitió corroborar los resultados obtenidos por Gómez-Morín y Lizárraga (1982), en lo referente al azolvamiento del puerto a partir de 1967, además de puntualizar de manera más precisa las zonas donde el azolvamiento es más crítico.

El problema de la deriva litoral se soluciona parcialmente con la construcción del espigón El Gallo, sin embargo no existe un estudio de difracción de oleaje para este sitio, que determine si la tendencia es a crear una playa estable, o de lo contrario, continúe atrapando sedimentos hasta rebasar la capacidad de retención del espigón y que el material de deriva se introduzca al puerto.

En lo que respecta al arroyo Ensenada que desemboca al puerto, es prácticamente imposible desviar su cauce, sin embargo con obras de represas río arriba que actúen como trampas de sedimento, podría disminuir temporalmente esta fuente de aporte.

Es evidente que la solución al problema representa una inversión económica considerable, pero dada la importancia del puerto para el estado de Baja California, si no se avoca rápidamente a resolver lo señalado, el puerto perderá paulatinamente su capacidad para atender embarcaciones de gran calado, o será necesario intensificar las operaciones de dragado con el consecuente derrame económico que ello representa y que de ningún modo resuelve definitivamente el problema.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones así como el Centro de Cálculo del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) por el apoyo otorgado al primer autor en la realización del presente proyecto.

jetty and thus allowing the drift material to be introduced into the harbor.

With respect to the Arroyo Ensenada which flows into the bay, it is practically impossible to divert its course. However, with damming works upstream which act as sediment traps, this contributing source could be temporarily decreased.

It is clear that the solution to the problem requires a considerable economic investment. However, given the importance of the harbor to the state of Baja California, if this problem is not solved quickly the harbor will slowly lose its capacity to service large vessels and it will be necessary to increase the dredging operations, with the consequent economic loss that this entails and which would in no way definitely solve the problem.

ACKNOWLEDGEMENTS

The support provided to the first author by the Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones and the Centro de Cálculo of the Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) is acknowledged.

English translation by Christine Harris.

LITERATURA CITADA

Aranda Manteca, F.J. (1983). Estudio de minerales pesados como trazadores de la corriente litoral en la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada, B.C., México.

Davis, J.C. (1973). Statistics and data analysis in geology. John Wiley & Sons, New York, 549 pp.

Gómez-Morín, L. y Lizárraga, J.R. (1982). Análisis hipsométrico del puerto de Ensenada, B.C. Ciencias Marinas, 8(2): 7-24.

Instituto de Investigaciones Oceanológicas (1967). Estudio oceanológico de la Bahía de Todos Santos, B.C. Parte I. Observaciones

- oceanológicas sobre una sección eulitoral. UABC, Reportes Técnicos, Ensenada, B.C. (no publicado).
- Ippen, A.T. (1966). Estuary and coastline hydrodynamics. McGraw Hill, New York, p. 480.
- John, E.J. (1974). Geomorphological studies of the estuary of River Netravatai near Mangalore. Proc. 14th Coast. Eng. Conf., Vol. II: 1304-1318.
- Johnson, J.W. (1970). Seasonal bottom changes, Bolinas Bay, California. Proc. 12th Coast. Eng. Conf., Vol. II: 1383-1396.
- Lizárraga, J.R. (1976). Variaciones estacionales de la playa en la Bahía de Todos Santos, B.C. Ciencias Marinas, 3(1): 30-50.
- Magoon, O.T. (1978). Maintenance of Santa Cruz Harbor, California, USA. Proc. 16th Coast. Eng. Conf., Vol. II: 1276-1281.
- Noda, H. (1966). Model study on the filling-up of a fishery harbor by drifting sand. Proc. 10th Coast. Eng. Conf., Vol. I: 564-594.
- Sato, S.H. and Irie, B.I. (1970). Variation of topography of sea bed caused by the construction of breakwaters. Proc. 12th Coast. Eng. Conf., Vol. II: 1301-1319.
- Spiegel, M.R. (1961). Statistics. McGraw-Hill, New York, 357 pp.
- U.S. Army Coastal Engineering Research Center (USACERC) (1975). Shore protection manual. Department of the Army, Corps of Engineering, Washington, D.C., Vols. I and II.