

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE
BAJA CALIFORNIA**

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



**PROYECTO DE REGENERACION
ARTIFICIAL DE
"PLAYITAS"
UTILIZANDO EL MÉTODO DE
TRANSFERENCIA DE ARENA**

TESIS

Que para obtener el Título de

OCEANÓLOGO

presenta

**MARTHA BENET
CAMARENA ACEVEDO**

Ensenada, B.C.

Diciembre de 1994



PROYECTO DE REGENERACION ARTIFICIAL DE
"PLAYITAS"
UTILIZANDO EL METODO DE TRANSFERENCIA DE ARENA

TESIS
QUE PRESENTA:

MARTHA BENET CAMARENA ACEVEDO

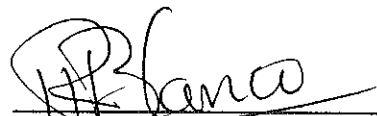
APROBADA POR:



PRESIDENTE DEL JURADO
OC. RIGOBERTO GUARDADO FRANCE.



SINODAL PROPIETARIO
M.C. CARLOS R. TORRES NAVARRETE.



SINODAL PROPIETARIO
OC. JOSE R. BLANCO BETANCOURT.

RESUMEN

En este estudio se propone el proyecto de regeneración artificial de "Playitas" utilizando el método de transferencia de arena. Esta playa perdió $98,403m^3$ de arena durante el evento de tormenta ocurrido el 17 y 18 de Enero de 1988. En base a las características texturales del material nativo y de tres zonas fuentes de material, se obtiene que los volúmenes necesarios para regenerar la playa son: $118,083m^3$ de la zona fuente 1 (Material acumulado detrás de la zona de rompiente de "Playitas"); $127,923m^3$ de la zona fuente 2 (Arroyo San Carlos) ó $115,131m^3$ de la zona fuente 3 (Arroyo San Antonio).

En base a las características dinámicas de la zona; se recomienda que el material sea colocado en verano, en la zona centro de la playa de bolsillo. Si se utiliza el material de la zona fuente 1, este debe ser colocado entre el límite inferior de la zona de vaivén y la isobata de los 3 metros (límite del movimiento activo del sedimento para condiciones de verano).

DEDICATORIA

A mis padres: Manuel Camarena Carrillo y Esther Acevedo Figueroa por todo el amor y el apoyo que he recibido.

Por todo su amor y comprensión a mis hermanos: Agustín, Rosa, Sergio, Carmen, Belly y Briza.

A mis chiquitines: Mayra, Cesar, Yaya, Mayrita y Grecia.

A mis grandes amigas: Claudia y Chayo por estar conmigo en los momentos más difíciles.

A el gordito (Mario) por su gran amistad.

A mis amigas las norteñas: Evelia, Laura, Celia y Scarlette.

A mis amigos Alberto y Mike por aguantarme todos estos años.

Con mucho amor y ternura a mi pequeña estrella.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por todo el apoyo y comprensión que me han brindado.

A mi director de tesis Oc. Rigoberto Guardado France por toda la ayuda que he recibido.

A mi sinodal Oc. Rafael Blanco Betancourt por el tiempo y ayuda que me brindo.

A mi sinodal M.C. Carlos Torres Navarrete por su valiosa ayuda, críticas y comentarios.

Al Oc. Pedro Martínez por su valiosa ayuda, para la realización de la batimetría.

Al Departamento de Oceanografía Física del IIO, por todas facilidades brindadas, *Muchas gracias chatos.*

Al Departamento de Oceanografía Geológica de la UABC por todas la facilidades.

A Esperanza Ortíz por facilitarme los datos de las fuentes de material.

Al Ing. Antonio García por facilitarme los perfiles de playa (1993).

A Laura, por dejarme utilizar su computadora.

Al Ing. Ramón Astorga por su tiempo y ayuda.

INDICE

	Página
LISTA DE TABLAS	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
1 INTRODUCCION	1
2 ANTECEDENTES	4
3 OBJETIVO	8
4 AREA DE ESTUDIO	8
5 METODOLOGIA	10
5.1 Batimetría y perfiles de playa.	10
5.1.1 Cálculo del volumen de diseño	13
5.1.2 Cuantificación del volumen de arena de la zona fuente.	13
5.2 Parámetros estadísticos del análisis granulométrico.	16
5.3 Factor de relleno	16
5.4 Oleaje	18
5.4 Patrón de corrientes dentro de la zona de estudio.	20
6 RESULTADOS Y DISCUSIONES	25
7 CONCLUSIONES	34
8 LITERATURA CITADA	35

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla I. Resultados obtenidos por Méndez-Arriaga (1982).	19
Tabla II. Características texturales y factores de relleno de las zonas fuente.	26
Tabla III. Resultados del análisis granulométrico.	27

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Localización del área de estudio	9
2	Ubicación de los perfiles de playa y batimétricos para Octubre de 1972.	11
3	Perfiles de playa y batimétricos de octubre de 1972.	12
4	Batimetría del área de estudio (1993)	14
5	Perfiles de playa y batimétricos de 1993.	15
6	Ubicación de las estaciones de muestreo.	17
7	Comportamiento de la corriente detrás de la zona de rompiente, obtenido en este estudio.	22
8	Comportamiento de la corriente litoral dentro de la zona de estudio para Octubre de 1981 (Tomado de Aranda-Manteca, 1983).	23
9	Comportamiento de la corriente litoral dentro de la zona de estudio (Tomado de Ahumada-Sempoal, 1993).	24

1 INTRODUCCION

La zona costera es de gran importancia debido a los múltiples usos que le ha dado el hombre, como lo son: las actividades industriales, la navegación, explotación de recursos renovables y no renovables (pesquerías, extracción de petróleo, sal, etc.), el agua del océano en sí representa un valioso recurso al ser utilizado para el enfriamiento de centrales térmicas; así mismo la zona costera constituye una de las mayores atracciones para propósitos turísticos o de recreación.

Las playas son zonas costeras transicionales cuya función natural es actuar como amortiguador entre el mar y tierra firme, disipando la energía del oleaje (Komar, 1976) dando protección a la costa y a las construcciones ubicadas sobre ésta.

El perfil de playa presenta variaciones, debido al transporte litoral paralelo y perpendicular a la costa, principalmente a causa de las características del oleaje. Entre los diversos estudios relacionados a tales variaciones en la morfología del perfil, se encuentran los de Shepard (1950) y Bascom (1959); dichos estudios relacionan los cambios del perfil con los cambios estacionales del oleaje con respecto a la costa. En base a esto, el ciclo que presentan algunas playas consiste en una erosión extensa durante el invierno y una acreción durante el verano (Shepard, 1950). Sin embargo, cuando se presenta una serie de tormentas en un periodo de tiempo corto, la costa sufre un alto grado de erosión, ya que la playa como protección natural, no tiene tiempo de restaurarse y algunas veces la recuperación completa de la playa nunca ocurre, debido a que la arena se deposita fuera de la zona activa de movimiento del sedimento.

La ocurrencia e intensidad de tormentas no son la única causa de erosión de las playas, otros factores que pueden influir en dicha erosión son: la disminución del aporte de material sedimentario, por ríos, arroyos o cantiles, la cual puede ser por causas naturales o provocada por el hombre, por la construcción de presas que impiden el aporte de material sedimentario al sistema litoral, o bien por la construcción de estructuras sobre la línea de costa. La remoción de material de la playa por la acción del viento puede ser otra causa significativa de erosión de la playa (Shore Protection Manual, 1984).

Cuando la playa es deficiente como estructura de protección natural, contra la energía del oleaje, una de las alternativas para evitar daños sobre la costa es utilizar métodos casi naturales, tales como la restauración y alimentación artificial de la playa o la reconstrucción artificial de las dunas, tales soluciones mantienen a la playa como un disipador de la energía del oleaje muy efectivo.

Una de las ventajas de éstos métodos es que son relativamente económicos, comparados con otro tipo de estructura de protección costera, otra ventaja igualmente importante es que la costa adyacente se ve beneficiada por el aporte de material al sistema litoral (Shore Protection Manual, 1984).

El lugar conocido como "Playitas" es una playa de bolsillo que fué erosionada por un evento de tormenta que alcanzó la región de Ensenada el 17 y 18 de enero de 1988; Seymour (1989) concluye que éste fué un evento excepcional, excediendo cualquier tormenta registrada en la historia del sur de California (E.U.A.). Este oleaje llegó a la Bahía de Todos Santos con una

dirección de 290°, una altura significativa de 9 metros y un periodo de 16 segundos (Dooren-Osio, 1991).

Dicho evento provocó el transporte de la arena de "playitas" hacia afuera de la zona activa del movimiento de sedimento, donde el oleaje de verano no tuvo la capacidad de regresarla a la costa. Por lo que esta playa en la actualidad se encuentra constituida por cantos rodados.

En este trabajo se propone la regeneración artificial de la playa, mediante la transferencia de arena. Con lo cual no sólo se podría recuperar sus características recreacionales, sino también sus características de protección costera natural, amortiguando la energía del oleaje, evitando así pérdidas de terreno y por lo tanto pérdidas de las construcciones ubicadas sobre los cantiles; ya que de acuerdo a Cruz-Colín (1994), los cantiles que limitan la zona presentan una alta razón de retroceso (1.2 m/año).

2 ANTECEDENTES

El estudio de la alimentación artificial de playas comenzó en los Estados Unidos de Norte América a mitad de la década de los sesentas y se intensificó hasta mediados de los setentas, el interés y avances en esta área se debe a las necesidades de la sociedad para la protección de su infraestructura costera o bien para mantener o crear playas recreacionales (Stauble y Kraus, 1993).

En la actualidad, se puede llevar a cabo una mejor planeación de los proyectos sobre alimentación artificial debido a que se cuenta con un amplio registro de estudios sobre esta área, así como por una mejor comprensión teórica de la hidrodinámica costera y procesos litorales.

Entre el registro de estudios generales realizados para este tipo de proyectos, se encuentra el trabajo de Hobson (1977), él lleva a cabo una revisión y presenta un resumen de los elementos de diseño para la alimentación artificial de playas, en el que incluye: a) El análisis y características de los sedimentos, b) Aspectos generales del muestreo en playa y fuentes de material, c) Cálculo y uso de la distribución de tamaño de grano dentro de los esquemas de relleno existentes.

En el Sur de California Central y Sur se han llevado a cabo numerosos proyectos de alimentación artificial de playas, en la mayoría de dichos proyectos se ha utilizado el método de transferencia de arena, aprovechando la arena dragada de puertos o bien la extraída de la excavación, cuando es necesario tener una profundidad adecuada para la construcción de estructuras costeras (Wiegel, 1994).

Dentro de la Bahía de Todos Santos B.C. no se han llevado a cabo

proyectos de restauración y alimentación artificial, sin embargo los siguientes estudios realizados dentro de esta zona son de gran utilidad para llevar a cabo el objetivo propuesto.

Lizárraga-Arciniega (1971), Realizó un estudio de mediciones del perfil de playa, en la zona centro de la Bahía de Todos Santos durante el periodo 1971-1972, donde observó que la playa se erosiona durante el periodo invierno-primavera y se presenta una acreción durante verano-otoño.

Estos resultados son similares a los obtenidos por Rubio-Orozco (1987) en el que concluye que las variaciones presentes en la morfología del perfil corresponden al ciclo anual (verano-otoño y primavera-invierno).

De Alba-Pérez (1972) menciona las características del área de estudio anteriores al evento de tormenta de enero de 1988, indicando que la zona norte de la playa estaba constituida por arena, mientras que la zona sur estaba formada por abundantes cantos rodados, debido a que la acción del oleaje es más fuerte en esta parte, a causa del ángulo de incidencia del mismo.

Así mismo indica que la playa presentaba un ciclo estacional en su morfología, que el oleaje de invierno causaba la denudación de la playa, mientras que el oleaje de verano, transportaba la arena hacia la parte alta de la playa. Durante el mes de mayo, junio y julio de 1969 llevó a cabo la medición de la acreción de la playa, notando una depositación total de arena de 90 cm.sobre el nivel que presentaba la playa antes de la medición.

Aranda-Manteca (1983) determina la dirección de la corriente litoral en la Bahía de Todos Santos por medio del estudio de minerales pesados que utiliza como trazadores de la corriente, efectuando un patrón detallado de

éstas. Menciona que Punta Morro y las salientes rocosas de la parte norte de la playa de bolsillo provocan la difracción del oleaje y mantienen una zona de calma en la porción norte de la playa. Así mismo indica que los resultados obtenidos son apoyados por las características topográficas de la zona, ya que la zona sur de la playa presentaba pendientes pronunciadas constituidas principalmente por cantos rodados, mientras que la zona norte presentaba una pendiente suave y una franja ancha de arenas claras.

Méndez-Arriaga (1982) determina el transporte litoral predominante dentro de la Bahía de Todos Santos en base a parámetros texturales; para lo cual llevó a cabo un muestreo en octubre de 1981, obteniendo muestras de la cara de la playa y detras de la zona de rompientes a una profundidad aproximada de 11 metros.

Reporta los resultados obtenidos del análisis granulométrico para la zona de playitas y concluye que el transporte litoral en esta zona se lleva a cabo en dos sentidos; de Norte-Sur determinado por las muestras obtenidas detras de la zona de rompientes y de Sur a Norte por los parámetros texturales que presentan las muestras de la cara de la playa.

Martínez *et.al.* (1989) Realizan una estadística de oleaje dentro de la Bahía de Todos Santos de septiembre de 1986 a agosto de 1987, reportando que la altura significante describe una variación estacional, presentandose en invierno los valores máximos de 2.1 metros con un periodo de 16 segundos.

Ahumada-Sempoal (1993) lleva a cabo la cuantificación de la velocidad de la corriente litoral generada por el oleaje. Para lo cual consideró 6 casos de olas que arriban normalmente a la Bahía de Todos Santos, los 2 primeros corresponden a oleaje que incide en verano y los restantes al oleaje que

arriba durante la época invernal. Así mismo para calcular la velocidad de la corriente litoral lleva a cabo el cálculo de la altura significativa en la rompiente, así como el ángulo que forma la ola al romper cerca de la costa. Así mismo elabora un patrón de corrientes litorales para diferentes ángulos de incidencia del oleaje dentro de la zona de estudio.

Cruz-Colín (1994) LLeva a cabo el balance sedimentario desde 1970 a 1990, dentro de la Bahía de Todos Santos, encontrando 4 celdas litorales. La zona de estudio la incluye dentro de la celda litoral II que abarca desde Punta Morro hasta el puerto de Ensenada.

Esta celda presenta dos elementos de ganancia de material que son: a) La erosión de los cantiles del norte de playitas, playitas y el sur de papagayo; b) El arroyo Ensenada y el material de relleno colocado en la playa del Vigía.

3 OBJETIVO

Calcular la cantidad de material sedimentario necesario para la regeneración de la playa conocida como "Playitas".

Seleccionar la técnica adecuada de colocación del material sedimentario.

4 AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada dentro de la Bahía de Todos Santos Baja California, México. La cual se localiza a 100 km. al sur de la frontera con los Estados Unidos de Norte América, en la costa oeste de la Península de Baja California, extendiéndose desde los $31^{\circ}37'$ a $31^{\circ}40'$ latitud Norte y de los $116^{\circ}28'$ a $116^{\circ}47'$ longitud Oeste y la cual presenta un área aproximada de 2500 hectáreas, con 18 km de largo y 14 km de ancho (López, 1990).

La zona de estudio es una playa de bolsillo compuesta actualmente por cantos rodados, se encuentra ubicada en la porción Norte de la Bahía de Todos Santos, a 3 km de la ciudad de Ensenada; presenta una longitud aproximada de 700 mts; se encuentra limitada al norte por Punta Morro, la cual está constituida por rocas basálticas, sobreyaciendo a éstas se encuentra una formación sedimentaria aluvial reciente; al sur se encuentra limitada por una pequeña saliente de material basáltico.

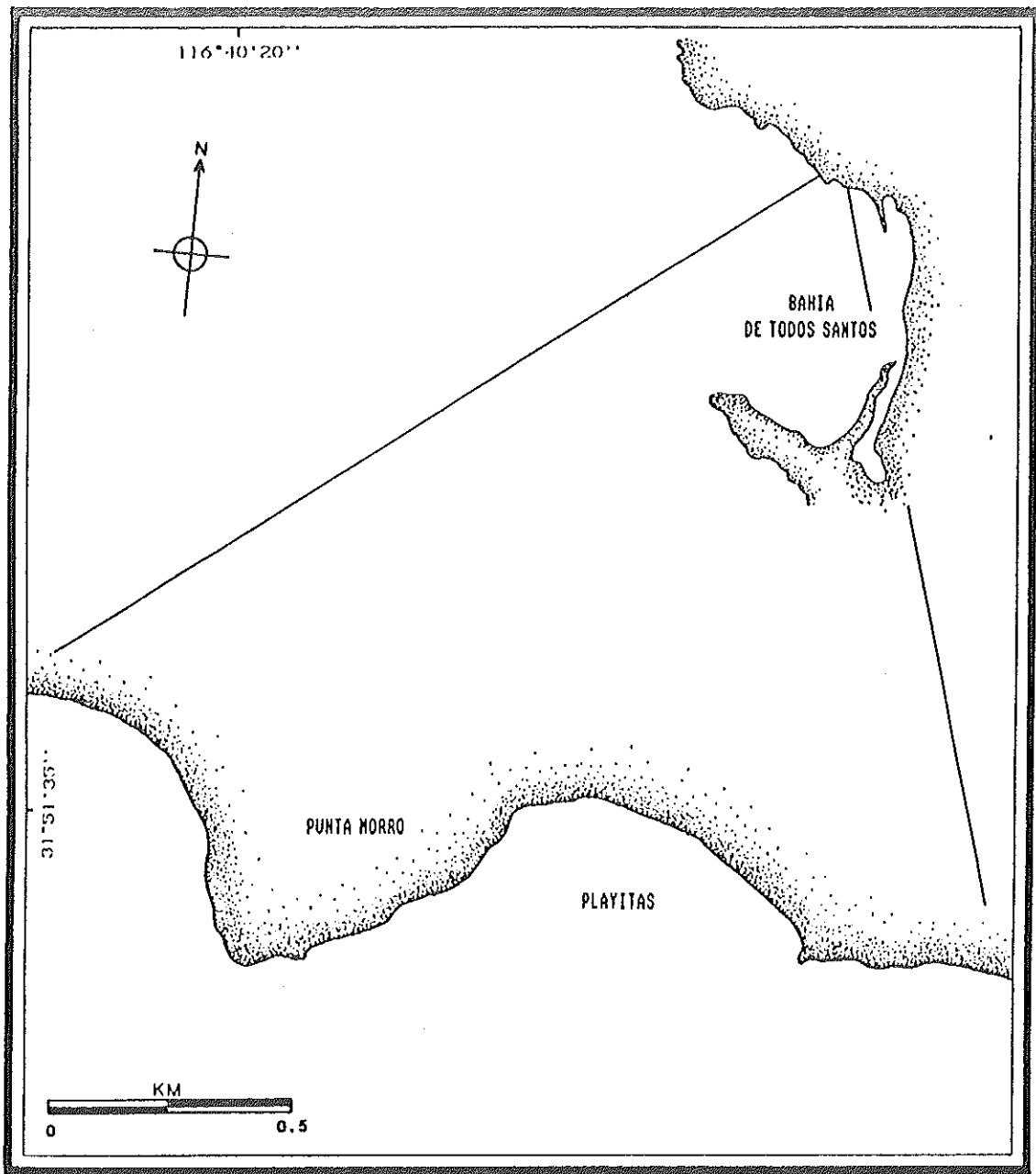


Figura 1. Localización del área de estudio.

5 METODOLOGIA

La metodología que se siguió fue en su mayor parte la descrita en el Shore Protection Manual (1984) y otra parte fue tomada de varios proyectos de regeneración artificial publicados en el Coastal Zone (1993). Para lo cual en forma general se requiere de la siguiente información:

5.1 Batimetría y perfiles de playa anteriores y posteriores al evento de tormenta de Enero de 1988.

5.1.1 Cálculo del volumen de diseño.

5.1.2 Cuantificación del volumen de arena de la fuente.

5.2 Parámetros estadísticos del análisis granulométrico de la zona fuente.

5.3 Factor de relleno.

5.4 Oleaje.

5.5 Patrón de corrientes dentro de la zona de estudio.

A continuación se describe como se obtuvo la información, el procesamiento de la misma y su aplicación para alcanzar el objetivo propuesto.

5.1 Batimetría y Perfiles de playa anteriores y posteriores al evento de tormenta de enero de 1988.

El único registro topográfico de la playa de bolsillo anterior al evento de tormenta, con que se cuenta son los perfiles de playa y batimetría de octubre de 1972 (Figura 2 y 3).

El 27 de noviembre de 1993 se levantaron 4 perfiles batimétricos utilizando una ecosonda Raytheon modelo DE-719B. Para determinar la

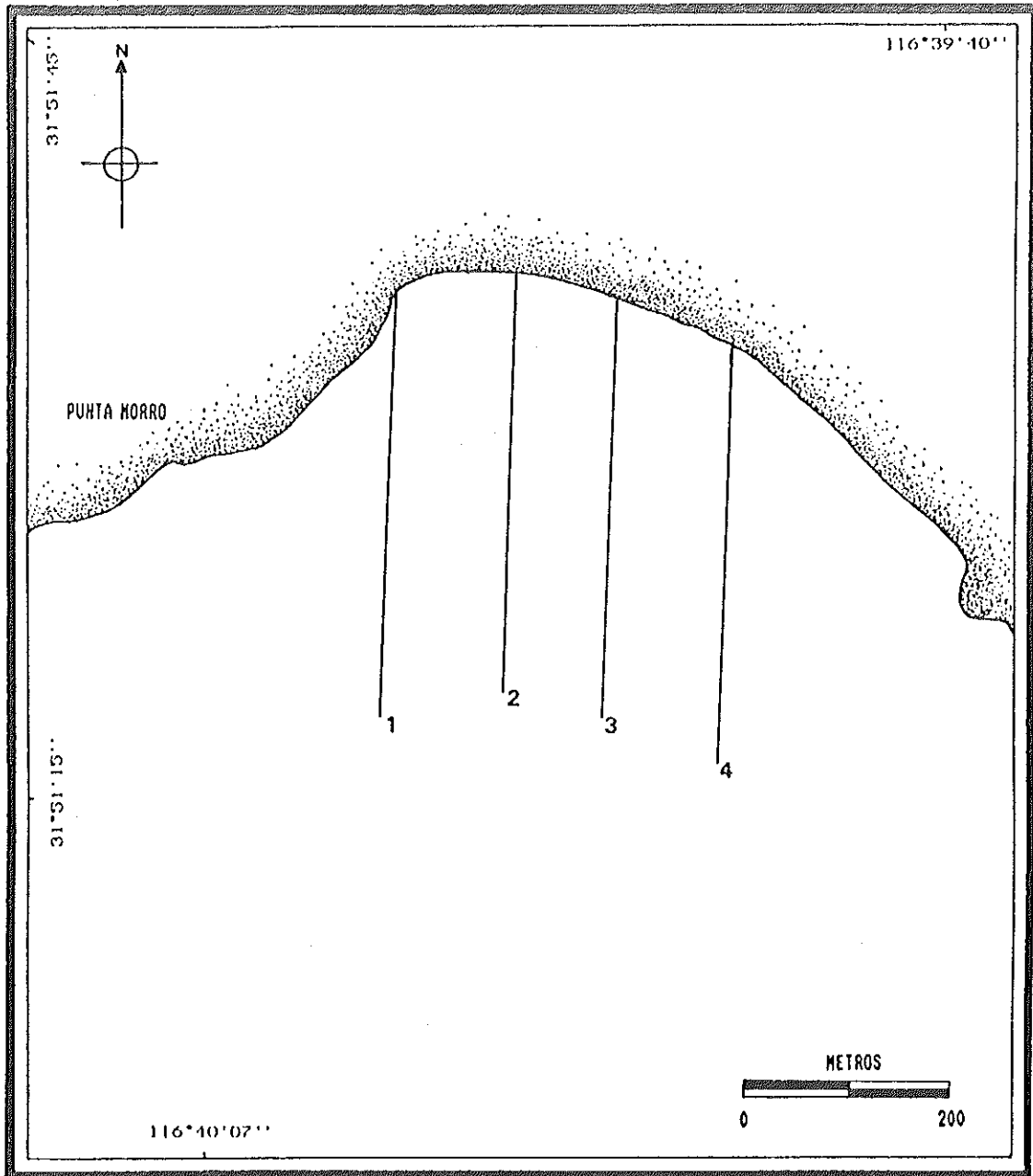


Figura 2. Ubicación de los perfiles de playa y batimétricos para Octubre de 1972.

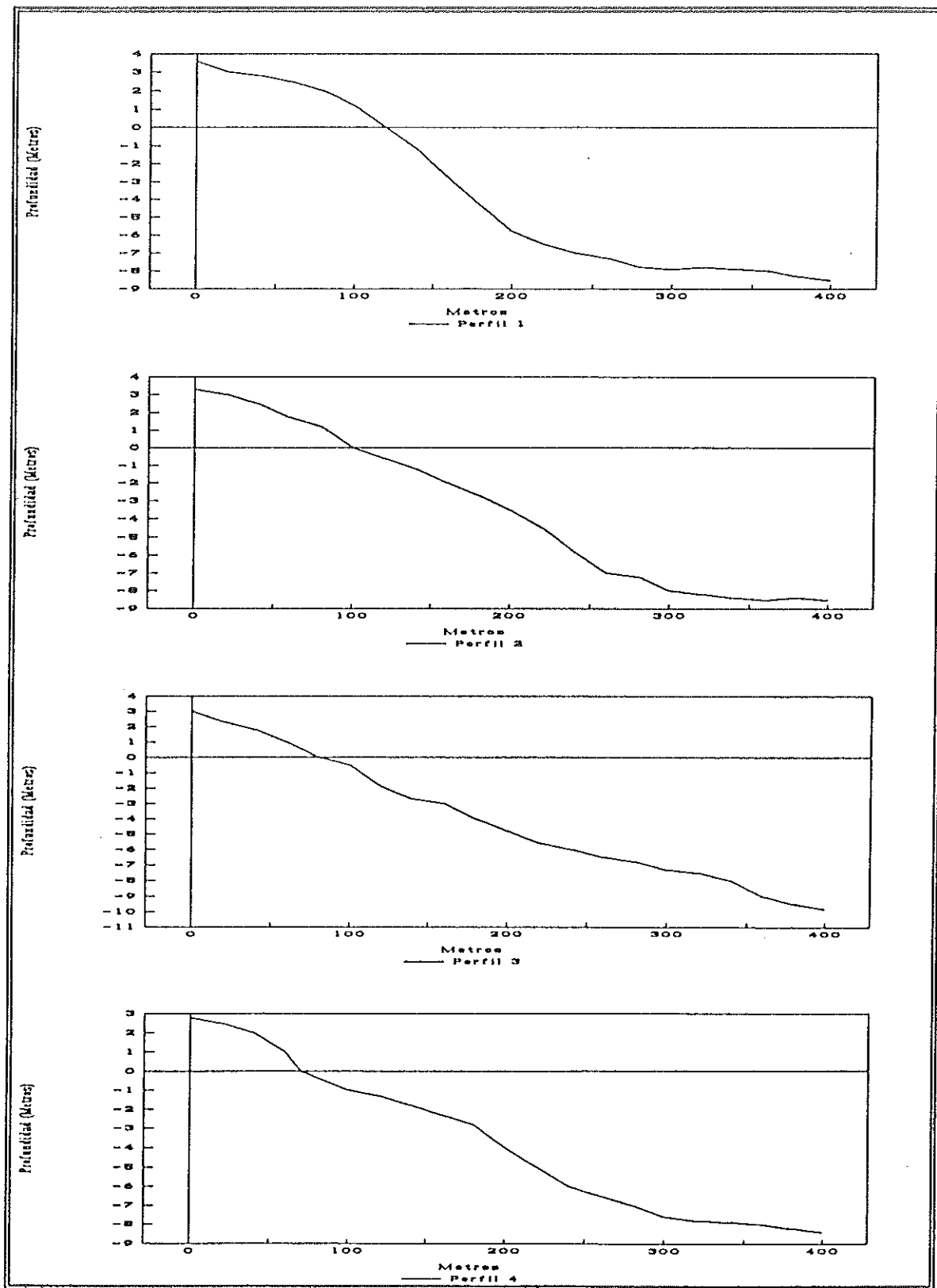


Figura 3. Perfiles de playa y batimétricos para Octubre 1972.

trayectoria de la lancha se tomaron 4 puntos fijos sobre la costa hasta una boya estabilizada a 400 metros aproximadamente de la playa; dos teodolitos sobre tierra determinaron la posición de inicio y final del transecto mediante triangulación. Para la obtención de las isobatas se utilizó el paquete de programas SURFER (Golden Software Inc. 1989) (Figura 4). Esta batimetría fué complementada con los perfiles de playa levantados por Puertos Mexicanos en agosto de 1993, obteniendo así perfiles desde +4 mts. a -8 mts. (Figura 5).

5.1.1 Cálculo del volumen de diseño

El área a ser regenerada abarca una pequeña extensión de 350 metros, correspondientes a la porción norte de la playa de bolsillo, ya que la porción sur es la zona más desprotegida contra la energía del oleaje y por lo que, aún antes del evento de tormenta de 1988 esta zona nunca estuvo constituida por arena (De Alba-Pérez, 1972 y Aranda Manteca, 1983). Debido a lo anterior solo se determinó el déficit de arena entre los perfiles de 1993 y 1972 ubicados en la porción norte de la playa.

Para el cálculo del volumen de arena entre los perfiles de 1993 y 1972 se utilizó el paquete de programas SURFER (Golden Software Inc. 1989).

Finalmente el volumen de diseño se determinó al multiplicar el factor de relleno (Ver sección 5.3) por los metros cúbicos (m^3) del déficit total de arena.

5.1.2 Cuantificación del volumen de arena de la fuente.

Para la cuantificación del volumen de arena de la fuente se utilizaron las batimetrías de noviembre de 1993 y la de Octubre de 1972. Esto se llevó

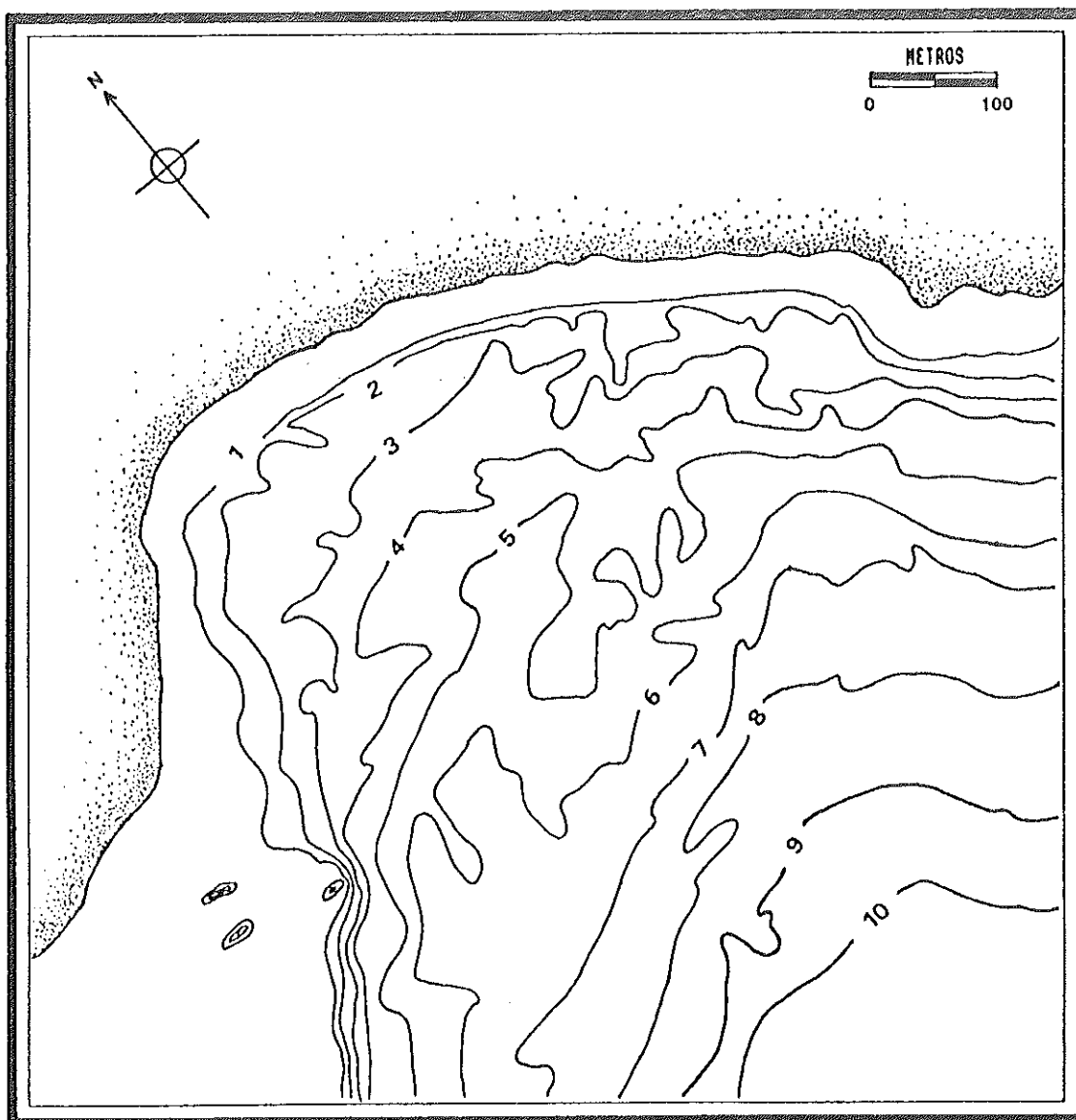


Figura 4. Batimetría del área de estudio (Noviembre de 1993).

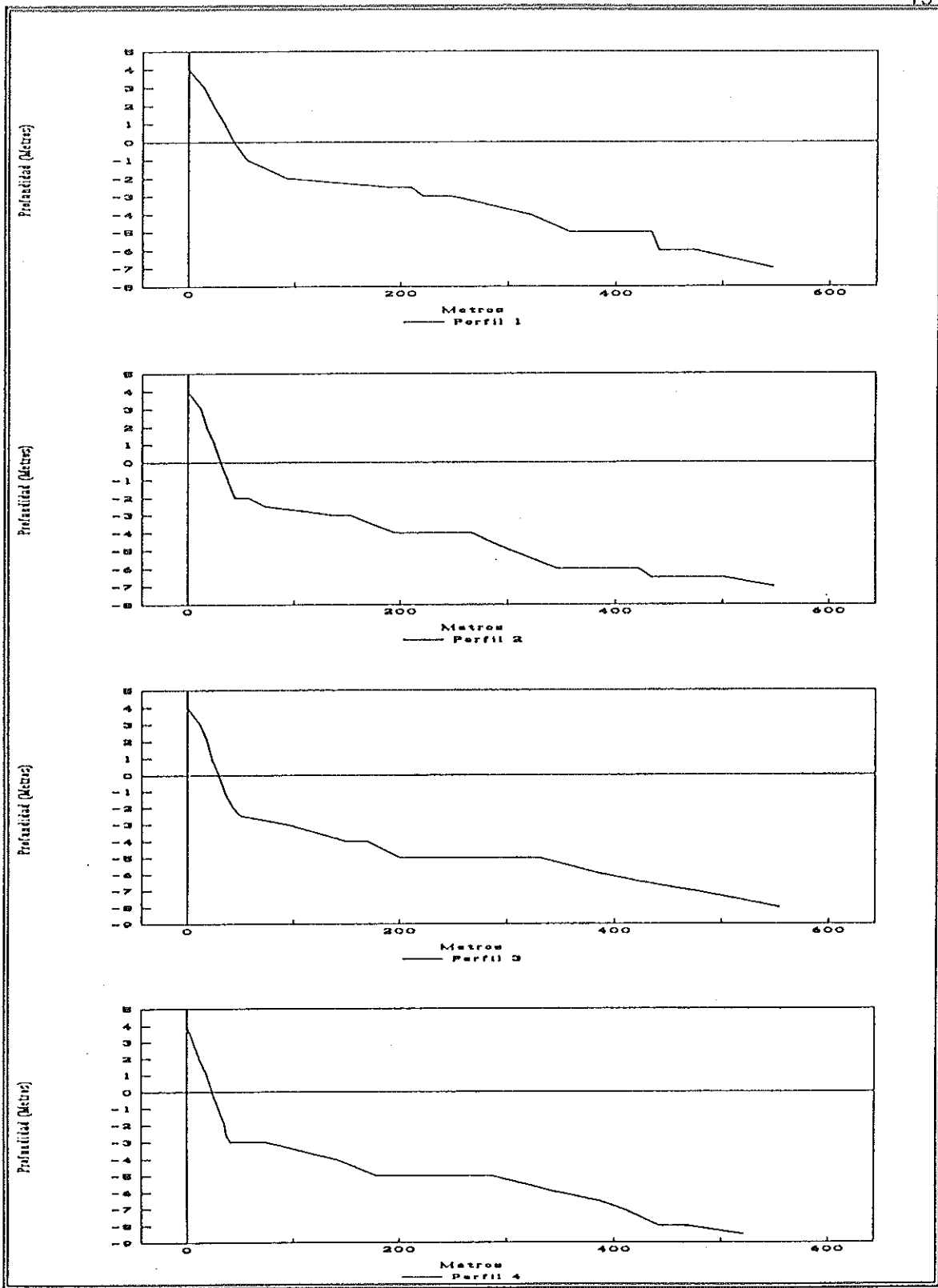


Figura 5. Perfiles de playa y batimétricos de 1993.

a cabo por la superposición de las batimetrías, utilizando el paquete de programas Surfer (Golden Software Inc. 1989), con el objetivo de determinar si este volumen cubre los requerimientos del volumen de diseño.

5.2 Parámetros estadísticos del análisis granulométrico de la zona fuente.

Estos se determinaron tomando muestras de sedimento en las estaciones marcadas en la Figura 6. Las muestras fueron tomadas con una draga Dietz-Lafond, cada muestra fue colocada en bolsas de plástico y etiquetada para su análisis posterior.

El análisis granulométrico se realizó en el laboratorio de Geología de la Facultad de Ciencias Marinas, primeramente se llevó a cabo el pretratamiento de las muestras (eliminación de materia orgánica y sales) de acuerdo a Royce (1970). Se usó un cuarteador mecánico hasta obtener muestras de 50 grs. y posteriormente se separaron mecánicamente las fracciones de diferente tamaño en la escala Phi (ϕ) (Folk y Ward, 1957).

Se utilizó un programa de computadora para determinar los parámetros estadísticos (media y desviación estándar) mediante el método de momentos.

5.3 Factor de relleno.

Se utilizaron los parámetros estadísticos del material de la fuente y el material nativo, para calcular el factor de relleno (James, 1975) utilizando las tablas correspondientes del Shore Protection Manual (1984).

Para obtener la media y desviación estándar representativo de las muestras de la zona fuente se determinó primeramente el porcentaje total

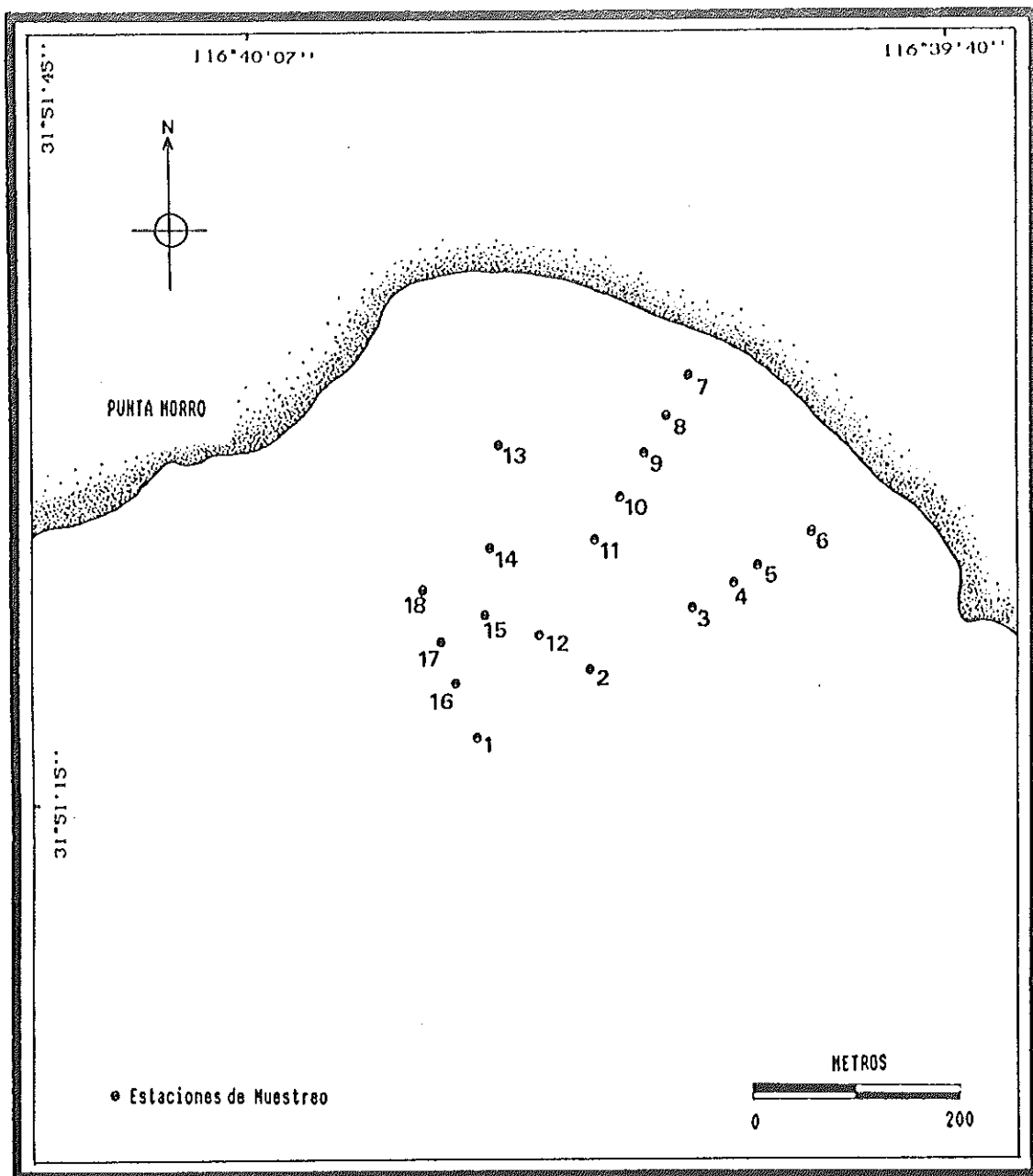


Figura 6. Ubicación de las estaciones de muestreo. (Noviembre de 1993).

de sedimento en cada intervalo de tamaño para todas las muestras (Hobson, 1977), con estos porcentajes se calculó la media y desviación estandar mediante el método de momentos, utilizando un programa de computadora.

Para determinar los parámetros estadísticos del material nativo se tendría que muestrear sobre el perfil activo, tanto en verano como en invierno, los únicos datos con que se cuenta dentro del área de estudio son los obtenidos por Méndez-Arriaga (1982) el cual llevó a cabo su muestreo sobre la cara de la playa, en el mes de octubre de 1981; por lo que sus datos fueron considerados como los representativos del material nativo (Tabla I).

5.4 Oleaje

Utilizando las alturas significantes y su correspondiente ángulo de aproximación en la zona de rompiente obtenidos por Ahumada-Sempoal (1993) se llevó a cabo la estimación del transporte litoral utilizando el modelo de Komar e Inman (1970):

$$Q_s = 6.8 P_t$$

En esta relación la constante (6.8) es válida para playas compuestas por arenas de cuarzo, donde Q_s es la razón de transporte litoral expresada en $m^3/día$ y P_t es la componente de la potencia de la ola a lo largo de la playa expresada en watts/m.

$$P_{tr} = \frac{\epsilon_r}{2} \sqrt{gh_r} \text{Sen } 2\alpha$$

Tabla I Resultados obtenidos por Méndez-Arriaga (1982).

Estación	Media (M_{ϕ})	Desviación Estandar (σ_{ϕ})	Clasificación (Wentworth, 1922)	Clasificación (Folk, 1974)
13 Playa	2.5696	0.2530	Arenas Finas	MBC*
14 Playa	2.4538	0.3856	Arenas Finas	BC
13 Mar	2.5266	0.6078	Arenas Finas	MBC
14 Mar	2.6809	0.4252	Arenas Finas	BC

MBC* Muy bien clasificadas.

BC Bien clasificadas.

MBC Moderadamente bien clasificadas

Aquí E_r es la energía de la ola evaluada en la rompiente expresada por:

$$E_r = \frac{1}{8} \rho g H_r^2$$

g es la aceleración de la gravedad; ρ es la densidad del agua de mar (1025 Kg/m^3), H_r es la altura de la ola en la rompiente, h_r es la profundidad en la zona de rompiente, y α el ángulo de aproximación de la ola.

La relación entre la altura y la profundidad en la rompiente esta dada por $\gamma_r = \frac{H_r}{h_r} = 0.78$ (McCowan, 1894 citado en Komar, 1976).

En este modelo la altura utilizada para los cálculos de E_r y P_t es la H_{rms} (Raíz cuadrática media de las alturas de ola) cuya relación con H_s es $H_s = 1.416 H_{rms}$. Este modelo tiene la ventaja de que se consideran las características de la playa como la densidad y porosidad del sedimento.

Para estimar el límite hacía el mar del movimiento activo del sedimento para condiciones de verano se utilizaron los datos de Martínez *et.al* (1989), utilizando la siguiente relación del Shore Protection Manual (1984).

$$d_t = 2H_{s50} + 12\sigma_H$$

donde H_{s50} es la altura significativa media anual, σ_H es la desviación estandar de la altura significativa anual.

5.5 Patrón de corrientes dentro de la zona de estudio.

Para determinar el sentido predominante de las corrientes detrás de la zona de rompientes se utilizaron tres boyas del tipo cruceta de deriva, las cuales se lanzaron en la parte norte de la playa con ayuda de una lancha, dos teodolitos en tierra determinaron la dirección que siguieron las boyas,

tomando los angulos cada 5 minutos, tanto el personal de la lancha así como el de los teodolitos contaban con radios para coordinar las lecturas; el comportamiento obtenido se muestra en la Figura 7.

Para determinar el área óptima para la colocación del material de relleno, se consideraron también los patrones de corriente litoral reportados por Aranda-Manteca (1983) y Ahumada-Sempoal (1993), (Figuras 8 y 9 respectivamente); así como la profundidad límite del movimiento activo de sedimento.

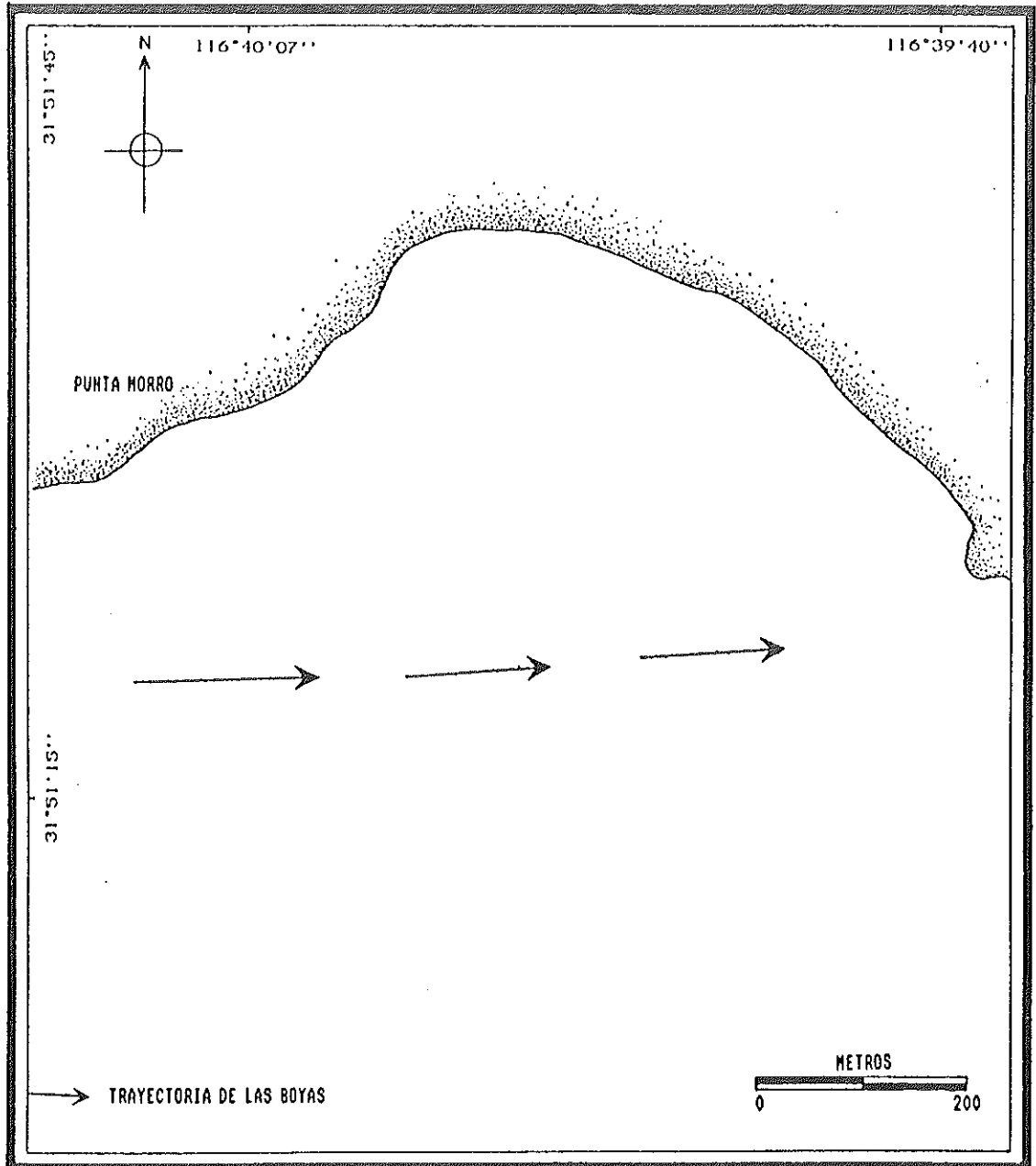


Figura 7. Comportamiento de la corriente detrás de la zona de rompiente, obtenido en este estudio.

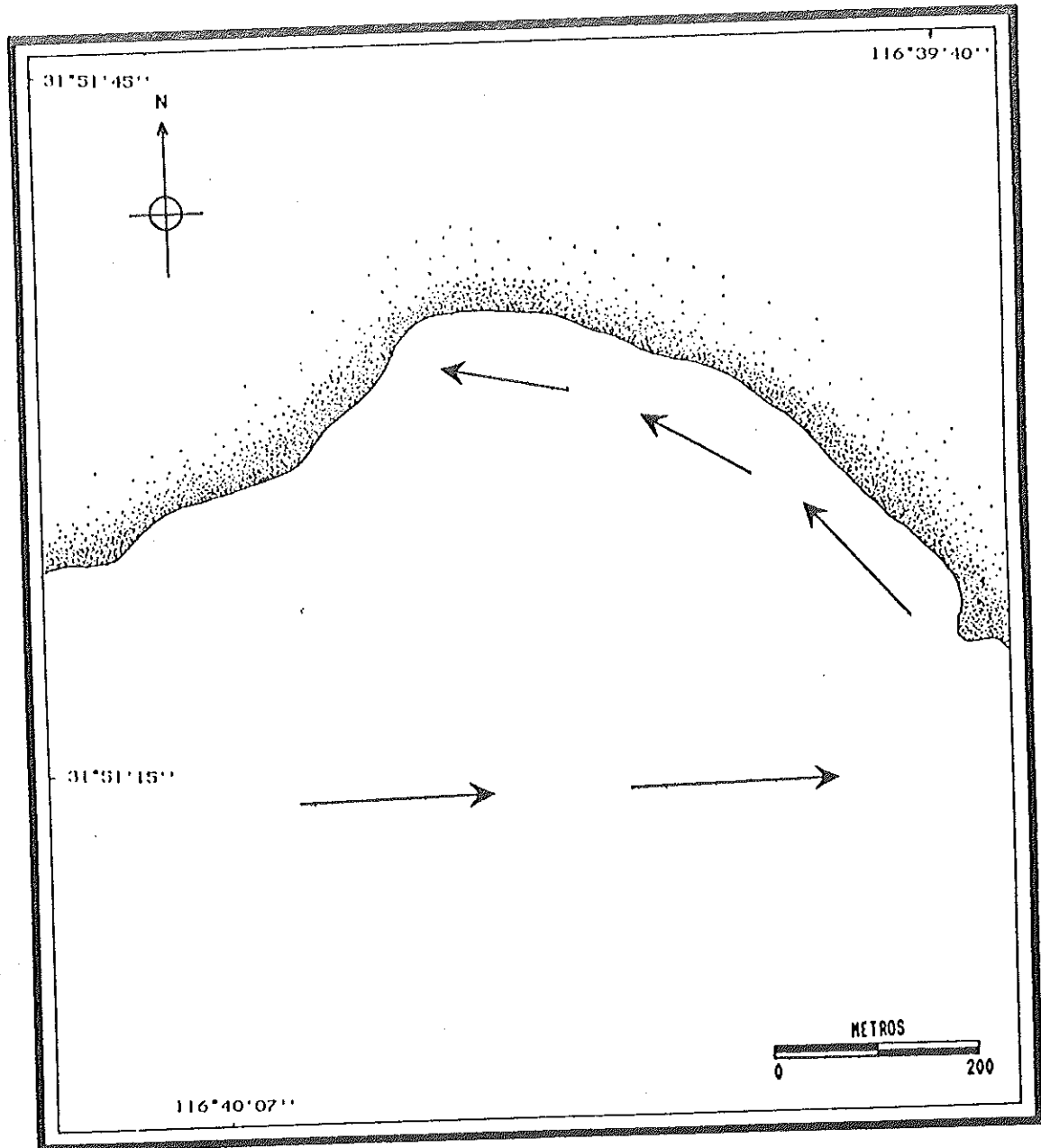


Figura 8. Comportamiento de la corriente litoral dentro de la zona de estudio para Octubre de 1981 (Tomado de Aranda-Manteca, 1983).

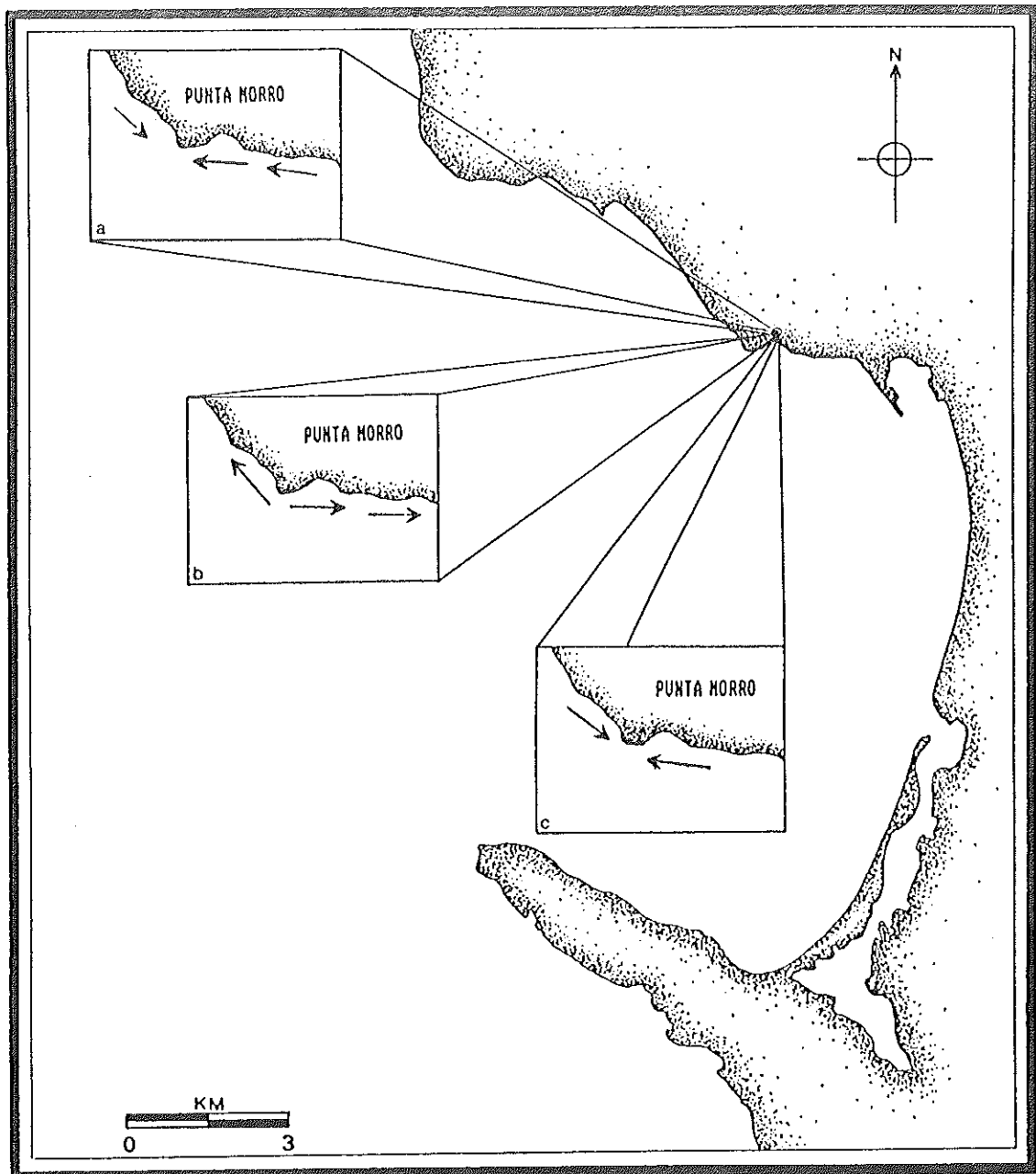


Figura 9. Comportamiento de la corriente litoral. a) Oleaje de verano que arriba a 230° , b) Oleaje de verano que llega a 242° , c) Oleaje de invierno que arriba a 280° . (Tomado de Ahumada-Sempeal, 1993).

6 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Debido a que esta playa no presenta berma por la corta distancia que existe entre el nivel del agua y los cantiles que limitan esta zona, no fué posible seguir en su totalidad la metodología descrita en el Shore Protection Manual (1984), por lo que fué necesario utilizar perfiles anteriores y posteriores al evento de tormenta de 1988 (considerados como los perfiles de regeneración y erosionados respectivamente), para efectuar el cálculo del volumen de arena requerido para regenerar la zona.

Debido a que los estudios realizados por Lizárraga-Arciniega (1971) y Rubio-Orozco (1987) en la zona centro de la Bahía de Todos Santos, indican que las playas presentan una mayor acreción en el periodo verano-otoño, los perfiles topográficos de octubre de 1972 fueron considerados como los perfiles de regeneración, suponiendo que estos se encontraban en equilibrio.

El déficit de arena calculado entre los perfiles de 1972 (Figura 2 y 3) y los de 1993 (Figura 5) fué de $98,403m^3$ (Tabla II). Una de las fuentes que se propone para la regeneración de playitas, para cubrir el déficit anteriormente mencionado, es el material acumulado detrás de la zona de rompiente de esta playa; mediante la superposición de las batimetrías de 1972 y 1993 (Figura 4), se calculó que el volumen de arena de esta fuente es de $109,356m^3$ (Tabla II). De esta fuente se tomaron un total de 18 muestras (Figura 6), mediante el análisis granulométrico, se determinó que la mayor parte de las muestras corresponden a arenas finas que van de bien clasificadas a moderadamente clasificadas, con una media (M_ϕ) de 2.114 a 2.783 y una desviación estandar (σ_ϕ) de 0.363 a 0.650 (Tabla III).

Tabla II. Características texturales y factor de relleno para las zonas fuentes.

	Playitas *	Zona Fuente 1 Playitas **	Zona Fuente 2 Arroyo San Carlos ***	Zona Fuente 3 Arroyo San Antonio ***
M_{ϕ}	2.511	2.394	2.224	1.742
σ_{ϕ}	0.319	0.570	0.986	1.148
$V(m^3)$	-----	109,356	14,175,000	14,000,000
Ra	-----	1.20	1.30	1.17
$Vi(m^3)$	98,403	118,083	127,923.9	115,131.51

* Material Nativo, resultados reportados por Méndez-Arriaga, 1982. Tabla I.

** Resultados del análisis granulométrico Tabla III.

*** Resultados obtenidos por Ortiz, 1994.

M_{ϕ} Media.

σ_{ϕ} Desviación Estandar.

Ra Factor de Relleno.

$V(m^3)$ Volumen de la fuente.

$Vi(m^3)$ Volumen inicial de relleno.

TABLA III Resultados del análisis granulométrico.

Estación	Media (M_{ϕ})	Desviación Estandar (σ_{ϕ})	Clasificación (Wentworth, 1922)	Clasificación (Folk, 1974)
1	2.3219	0.5275	Arenas Finas	MBC
2	2.3584	0.5723	Arenas Finas	MBC
3	2.3984	0.5615	Arenas Finas	MBC
4	2.4038	0.5854	Arenas Finas	MBC
5	2.5731	0.6501	Arenas Finas	MBC
6	2.7831	0.3961	Arenas Finas	BC
7	2.7600	0.3636	Arenas Finas	BC
8	2.1145	0.4590	Arenas Finas	BC
9	2.4059	0.5039	Arenas Finas	MBC
10	2.2477	0.5559	Arenas Finas	MBC
11	2.4489	0.5794	Arenas Finas	MBC
12	2.3992	0.5512	Arenas Finas	MBC
13	2.3026	0.6146	Arenas Finas	MBC
14	2.2545	0.4558	Arenas Finas	BC
15	2.2664	0.5215	Arenas Finas	MBC
16	2.2374	0.5338	Arenas Finas	MBC
17	2.1496	0.5954	Arenas Finas	MBC
18	2.2032	0.4837	Arenas Finas	BC

BC Bien clasificadas.

MBC Moderadamente bien clasificadas

De los parámetros texturales de esta zona fuente se obtuvo una media (M_{ϕ}) de 2.3942 y una desviación estandar (σ_{ϕ}) de 0.5707 (Tabla II), como los representativos de todas las muestras de acuerdo a Hobson (1977), mientras que de los datos reportados por Méndez-Arriaga (1983), considerados como los representativos del material nativo (Tabla I) se obtuvo una media (M_{ϕ}) promedio de 2.511 y una desviación estandar (σ_{ϕ}) de 0.3193 (Tabla II).

En base a los parámetros texturales representativos del material de esta fuente y el material nativo, el factor de relleno calculado de acuerdo al Shore Protection Manual (1984) fué de 1.20, lo que nos indica que se necesitan $1.20m^3$ de material de la fuente para producir $1 m^3$ de material de playa.

En base a este factor de relleno y al déficit de arena calculado entre los perfiles de playa de 1993 y 1972 ($98,403m^3$), se estima que se necesita un total de $118,083m^3$ de esta fuente (Tabla II), por lo que el volumen determinado de la fuente 1 es insuficiente para cubrir estos requerimientos, y en consecuencia fué necesario buscar fuentes alternas, tales como el Arroyo San Carlos y el Arroyo San Antonio (Tabla II).

El material del Arroyo San Carlos está compuesto por arenas medias menos clasificadas que el material nativo, mientras que el material del Arroyo San Antonio está compuesto por arenas gruesas también menos clasificadas que el material nativo; el material de estas fuentes de acuerdo al Shore Protection Manual (1984) puede considerarse como estable dentro del perfil de playa.

En varios proyectos de alimentación artificial, se recomienda el uso de material sedimentario igual o más grueso que el nativo (Kana, 1993, Stauble, 1993 y Campbell, 1990), ya que el material más fino que el nativo es inestable

sobre la playa debido a que el oleaje tiende a removerlos; por lo que el material de cualquiera de estas fuentes puede ser utilizado para regenerar la zona o bien ser combinado con el material de la zona fuente 1 para complementar el volumen necesario.

Para la zona fuente 2 (Arroyo San Carlos), se calculó un factor de relleno de 1.30, en base a éste y al volumen de relleno inicial se determinó que el volumen necesario de esta fuente es de $127,923m^3$ para cubrir las necesidades del área; mientras que de la zona fuente 3 (Arroyo San Antonio) el volumen de arena necesario en base al factor de relleno (1.17) y al volumen inicial es de $115,131m^3$. (Tabla I).

TECNICA DE COLOCACION DEL MATERIAL DE RELLENO.

El tipo de plantas hidráulicas o mecánicas utilizado para la colocación del relleno de playa dependerá principalmente de los recursos económicos disponibles. El uso de materiales de fuera de la costa para rellenos de playa comienza a ser común y las técnicas de explotación de estas fuentes son cada vez más perfeccionadas, por lo que los costos de material de fuera de la costa comienzan a ser los mas económicos cuando se compara con el material de fuentes convencionales (Shore Protection Manual, 1984). En base a una evaluación de costos y la disponibilidad de equipo hidráulico se podrá determinar cual fuente puede ser utilizada o si se puede llevar a cabo la combinación de material de dos fuentes. Ya determinado cual fuente es la más adecuada en cuanto a costos, es necesario determinar el sitio de colocación del relleno.

De las cinco opciones para la colocación del relleno descritas por Smith y Jackson (1990) se eligieron las siguientes:

a) Colocación sobre la playa visible. Debido a que para este tipo de colocación el tipo de plantas que se requiere es muy flexible, ya que se puede hacer mediante el bombeo de material o por medio de camiones de volteo, el tamaño de las plantas hidráulicas no es muy grande, y el material colocado en esta zona debe ser más grueso que el nativo para asegurar que las pérdidas de material sean mínimas, así mismo este tipo de colocación es efectivo cuando se trabaja en pequeñas extensiones (300-500 mts), y cuando se requiere un volumen mínimo de $100,000m^3$. Debido a lo anterior este tipo de colocación puede utilizarse con el material de las zonas fuentes 2 y 3, transportando el material desde la fuente hasta playitas utilizando camiones de volteo.

b) Colocación en forma de lecho (Distribuida cerca de la costa). Este tipo de colocación fué diseñada para superar los problemas que ocurren con los otros tipos de colocación, en los que solo una parte de la zona activa es alimentada.

En este tipo de colocación se pretende estabilizar primeramente el perfil entre la base de la cara de la playa y la rompiente, esperando que al alcanzar éste, una estabilidad, el material comience a distribuirse sobre todas las zonas activas del perfil de playa. Para este tipo de colocación se requiere un tipo de draga capaz de trabajar en aguas moderadamente someras (menores de 6 mts.), el material requerido puede ser ligeramente más grueso que el nativo, y debe ser descargado directamente en el agua sobre la zona anterior a la zona de vaivén. Por lo que para la colocación del material de la

zona fuente 1 puede utilizarse esta opción.

Se descarta la posibilidad de colocar el material de relleno en la zona de vaivén ya que de acuerdo a Jackson y Smith (1990), esta opción es recomendable cuando se requiere el relleno en extensiones del orden de kilómetros y volúmenes mayores a $1 \times 10^6 m^3$ para minimizar las pérdidas debidas al transporte litoral y para lo cual se requiere sólo equipo hidráulico.

El colocar primeramente el material de la fuente 1 en la zona anterior a la zona de vaivén hasta el límite de la zona activa de sedimento se reduciría en gran parte la formación de escarpes que se desarrollan cuando se utiliza el caso clásico de alimentación artificial, consistente en la colocación del material de relleno en las secciones medias y superiores de la zona de vaivén. El proceso de colocación del material de relleno debe llevarse a cabo en el verano, para que se lleve a cabo un proceso constructivo del perfil de playa.

De acuerdo al patrón de circulación obtenido por Ahumada-Sempoal (1993) (Figura 8), Aranda-Manteca (1983) (Figura 9) y Méndez-Arriaga (1982), el material debe colocarse aproximadamente en la porción media de la playa de bolsillo. En base a la profundidad límite del movimiento activo del sedimento calculada, el material debe ser colocado entre la isobata de los 3 mts. y el límite de la zona de vaivén, si se utiliza la zona fuente 1.

El reajuste del material de relleno dentro de un perfil más equilibrado se llevará a cabo por la acción del oleaje y corrientes que erosionan y distribuyen los sedimentos colocados artificialmente, removiendo los tamaños de grano más inestables a través de la acción de lavado.

De acuerdo a Dean (1993 y 1983), el ancho de la playa visible que se obtendría al utilizar el material de la fuente 1 es de 80.92 metros, si se utiliza el material de la fuente 2 se obtendría un ancho de 90.12 metros, mientras que si se utiliza la fuente 3 el ancho sería de 99.29 metros. Estos resultados son aceptables debido a que los perfiles de regeneración 1, 2, 3 y 4 (Figura 2 y 3) presentan una longitud desde la base del cantil hasta el nivel medio del mar de 120, 100, 80 y 80 mts. respectivamente.

Como se mencionó anteriormente no se cuenta con una secuencia de perfiles de playa anteriores al evento de tormenta, por lo que desconoce la pérdida anual de arena dentro de la playa de bolsillo, por lo que sólo se calculó la razón de transporte litoral utilizando el modelo de Komar e Inman (1970) (Ver sección 5.4) obteniendo un transporte litoral promedio de $6,281.1m^3/día$ para condiciones de verano y $11,847.38m^3/día$ para condiciones de invierno. Estos resultados comparados con los obtenidos por Blanco-Betancourt (1993) en la zona central de la Bahía de Todos Santos son muy altos, una de las causas por la que estos valores son muy altos podría ser por errores en las mediciones del ángulo de aproximación del oleaje reportadas por Ahumada-Sempoal (1993) ya que la zona de estudio es muy pequeña comparada con toda la Bahía, por lo que estos resultados pueden ser tomados como el límite de la razón de transporte litoral ya que este tipo de modelos tienen un $\pm 50\%$ de error (Shore Protection Manual, 1984), así mismo para este tipo de modelos se supone que se trata de playas rectas y no de bolsillo, por lo cual estos resultados se toman solo como la razón de transporte litoral y no como pérdidas dentro de la playa de bolsillo. Una de las ventajas de las playas de bolsillo es que las pérdidas de material son mínimas ya que las salientes sirven como estructuras de retención del

material sedimentario. Debido a lo anterior se recomienda tener un seguimiento de la evolución de los perfiles de playa después de la colocación del material de relleno, para determinar si es necesario realimentar la zona, así como para calcular el volumen necesario para mantener a la playa en equilibrio.

7 CONCLUSIONES

El volumen de arena requerido para regenerar la playa de bolsillo fué de $98,403m^3$.

En base al factor de relleno calculado para cada una de las zonas fuentes y al déficit de arena anteriormente mencionado, el volumen de arena que se requiere de cada fuente para regenerar la playa fué de: $118,083m^3$, de la zona fuente 1; $127,923m^3$ de la zona fuente 2 ó $115,131m^3$ de la zona fuente 3.

El material de relleno debe ser colocado en verano para que se lleve a cabo un proceso constructivo del perfil de playa. En base al patrón de circulación dentro de la playa de bolsillo para condiciones de verano; el material debe ser colocado en la zona centro de la playa.

Si se utiliza la zona fuente 1 para la regeneración de la playa, este debe ser colocado entre el límite de la zona de vaivén y la profundidad límite del movimiento activo del sedimento (isobata de los 3 mts).

Es importante llevar a cabo un monitoreo de los perfiles de playa, después de la colocación del material de relleno, para determinar las pérdidas de arena dentro de la zona, y por lo tanto determinar si es necesario realimentar la zona y calcular el volumen necesario para mantener la playa en un estado de equilibrio.

B LITERATURA CITADA

Ahumada Sempoal M.A., 1993, Corrientes litorales inducidas por el oleaje en la Bahía de Todos Santos B.C., Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada B.C.

Aranda-Manteca F., 1983, Estudio de los minerales pesados como trazadores de la corriente litoral en la Bahía de Todos Santos B.C., Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada B.C.

Bascom N.W., 1959, The relationship between sand size and beach face slope, Beach Processes and Coastal Hydrodynamics, Dowden Hutchinson y Ross Inc. Vol.39 pp 307-315.

Blanco-Betancourt J.R., 1993, Comparación de las predicciones de tres modelos de transporte de sedimento contra datos de campo, en la barra del estero de Punta banda B.C., Trabajo terminal de la especialidad de desarrollo portuario, Escuela de Ingeniería, Ensenada B.C.

Campbell T.J. y Howard E., 1990, Comparing alternate borrow sands for beach restoration, Proceedings, Beach Preservation Technology '89, Florida Shore and Beach Preservation Association, Tampa Florida pp 59-66.

Cruz-Colín M.E., 1994, Balance Sedimentario de la Bahía de Todos Santos, B.C. México, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada B.C.

De Alba-Pérez C.R., 1972, Colonización de un sustrato duro artificial por organismos marinos bentónicos, Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC, Ensenada, Baja California.

Dean G.R., 1983, Principles of Beach Nourishment, CRC Handbook of Coastal Processes and Erosion, CRC Press, Boca Raton, Florida. p. 217-231.

Dean G.R., 1993, Predictability of Beach Nourishment Performance, American Society of Civil Engineers, en Beach Nourishment Engineering And Management Considerations, Coastal Zone 1993, New York. p. 86-102.

Dooren-Osio K.V., 1991, Cuantificación del volumen de sedimento depositado frente al rompeolas (lado no protegido) del Puerto de Ensenada B.C., Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada B.C.

Folk R.L. Ward W.C., 1957, Brazos river bar: a study on the significance of grain size parameter, Journal of Sedimentary Petrology, Vol 27 No.1 pp 3-26.

Stauble K.D.y Kraus C.N., 1993, Project Performance: Ocean City, Maryland Beach Nourishment, American Society of Civil Engineers, en Beach Nourishment Engineering And Management Considerations, Coastal Zone 1993, New York.

Wiegel L.R., 1994, Ocean beach nourishment on the USA Pacific coast, Shore and Beach 1994.