

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA
CALIFORNIA**

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**Análisis de las Características Geomorfológicas y Físicas en Presencia de
Estructuras de protección en una Playa de Puerto Vallarta Jal. México.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

OCEANÓLOGA

PRESENTA

ANGÉLICA FÉLIX DELGADO

ENSENADA BAJA CALIFORNIA, OCTUBRE DE 2004.

*Hay hombres que luchan un día
y son buenos,
Hay quienes luchan muchos años
y son mejores,
Pero hay los que luchan toda la vida:
Esos son imprescindibles*

Bertold Brecht

Resumen

La zona costera en el mundo forma la única interfase entre los tres principales ambientes de la tierra: los continentes, el océano y la atmósfera, las interacciones entre estos tres ambientes dan lugar a la formación de depósitos de sedimento no consolidado denominados playas, caracterizadas por su gran dinamismo debido a la influencia directa de oleaje, corrientes costeras, mareas y viento. El oleaje generado en mar abierto que se transforma al entrar en aguas someras es el factor principal que controla la configuración de la línea de costa. Las variaciones en las playas se miden por el monitoreo topográfico de su perfil, este se ve afectado por eventos extremos (tormentas y huracanes). La erosión y depositación es parte de un ciclo natural en las playas, pero este se ve alterado cuando existen desarrollos turísticos, obras portuarias y/o de protección. En las últimas décadas el proceso de erosión costera ha comenzado a ser observado desde la perspectiva humana como un problema ambiental. Los mecanismos más comunes para prevenir o disminuir la erosión son: Espigones, Muros, Rompeolas, enrocamientos y Relleno artificial (Ross, 1988). Esto frecuentemente tiene consecuencias severas en la costa, por esta razón es de interés la cuantificación del transporte litoral y los procesos que producen estos movimientos (Komar, 1976). La playa El Salado se ha visto seriamente afectada por el acortamiento de sus playas y en casos extremos se presenta infraestructura dañada por la erosión. Kreeke, *et al.* (2001) definen la Costa de Banderas como playas relativamente estrechas y algunas de bolsillo separadas por resaltados cantiles, que se encuentran relativamente estables (erosión-depositación) durante condiciones normales de clima, solo después del paso de tormentas tropicales y huracanes se observan distintas evidencias de erosión. También encontraron que las playas son alimentadas principalmente por corrientes de descarga, sedimento proveniente de mas allá de la rompiente y los cantiles; las corrientes litorales transportan un volumen pequeño de sedimento sin una dirección neta. Por esto es importante generar una base de datos, donde se tengan estudios sedimentológicos y de oleaje para determinar las condiciones de la zona y ser comparados con estudios posteriores, de esta manera se obtendrá una buena planificación y se minimizan los daños que se presenten en la infraestructura hotelera. Este estudio se llevo acabo en el mes de Abril del año 2003. Se realizaron 29 perfiles, donde se tomaron 59 muestras de sedimentos para obtener los parámetros estadísticos, con estos datos se infirieron las corrientes litorales. Se analizaron también 10 años de datos de oleaje para obtener un año típico y dos condiciones de tormenta para realizar refracción en el programa SWAN. Lo anterior se realizo para estimar la dinámica sedimentaria y el efecto de las obras de protección sobre esta. Así se encontró que no existen cambios estacionales en el oleaje, los cambios principales solo se presentan en condiciones extremas. No existe un solo sentido en las corrientes litorales que demuestra la interferencia de las estructuras de protección aunque se presenta una corriente litoral predominante de Norte a Sur.

**Análisis de las Características Geomorfológicas y Físicas en
Presencia de Estructuras de protección en una Playa de Puerto**

Vallarta Jal. México.

TESIS

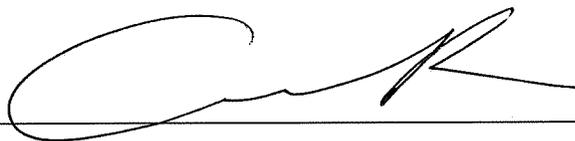
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

OCEANÓLOGA

PRESENTA

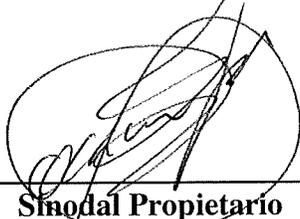
ANGÉLICA FÉLIX DELGADO

APROBADA POR



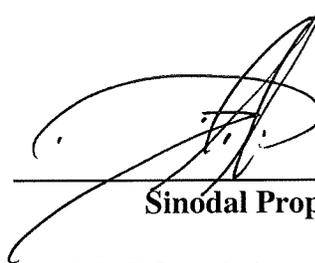
Presidente del Jurado

M. C. Rigoberto Guardado France.



Sinodal Propietario

Dr. Fco. Javier Ocampo Torres.



Sinodal Propietario

M. C. Luis Felipe Navarro Olache.

DEDICATORIA

A los pilares de mi vida, tres generaciones que llenaron mi vida de enseñanzas y amor:

Mi Madre por creer en mi y mostrarme que solo yo puedo llevar las riendas de mi vida.

Mi Abuela por que siempre estas en mi corazón hasta el momento en que volvamos a estar juntas.

Tony y Salvador mis maestros de paciencia y amor, por que siempre están en mi corazón.

Mi Papa que me enseñó a observar dentro del dolor, para sacar fuerzas y siempre salir adelante.

Por ustedes que son la fuerza que enciende mi vida....

Agradecimientos Académicos

A mi director de tesis M. C.. Rigoberto Guardado France, por su total apoyo, confianza y paciencia, para la finalización de esta tesis.

A mis sinodales: DR. Francisco Ocampo y M. C.. Luis Felipe Navarro por confiar en mi, por su apoyo desde el inicio de esta tesis, por brindarme siempre el material que necesite y principalmente por su tiempo.

A M.C..Luis A. Cupúl por la idea de esta tesis, el apoyo durante la realización y por mostrarme que tengo las bases para enfrentarme a lo que desee.

A Amílcar L Cupúl por su apoyo con la estancia en Puerto Vallarta, financiada por: El Proyecto Diagnóstico Ambiental y Monitoreo en las Comunidades Coralinas de Bahía de Banderas, Costa Sur e Isla de Nayarit.

A los profesores del área de geología de la Facultad de Ciencias Marinas por el préstamo del laboratorio y las molestias causadas en vacaciones.

A los tesisistas de Dr. Ocampo Diego Perelló y Deniss Castro, por su apoyo con el SWAN.

A los estudiantes de la maestría en Puerto Vallarta por ayudarnos con el trabajo de campo.

Daniel por su apoyo para aprender a usar la mesa para digitalizar el mapa.

Pablo Duarte por el contacto y los datos de oleaje.

Agradecimientos Personales

A Dios por regalarme esta vida y ponerme en este camino.

A mi Mama por que tuvo fe en mi hasta el final, te amo.

A mi Padre por el apoyo durante el tiempo que estado lejos, te amo.

A mis hermanos J. Antonio y Salvador, por el simple hecho de existir los amo.

A mis tíos y primos que nunca se han olvidado de mi, siempre los llevo en mi corazón.

A mis hermanos de vida Asaji (Chino), Diego (Primo), Hiram, Karina, Liz Núñez y Mary Carmen, que siempre estuvieron conmigo en las buenas y en las malas para enseñarme lo afortunada que soy por contar con ustedes.

A todos aquellos que compartieron todo conmigo: Vanesa Torres, Nicol, Gaby, Los panameños, Elizabeth, Fabián, Fiula, Aleph, Mario, Lizeth y Martha, por los buenos y malos momentos.

A todos los compañeros y amigos de la generación LV de Oceanólogos, y toda la gente que conocí durante estos años en la facultad, por mostrarme que siempre hay camino hacia delante.

A mis amigos que deje atrás para alcanzar este sueño Addi, Angel, Erika Martínez, Erika Perea, Pepe, Rocío, Verónica por mostrarme que la amistad dura a través del tiempo y la distancia.

A los profesores de esta Facultad que concidero amigos, Graciela Guerra, Ana Maria Iñiguez, Manuel Moreno, Conchita Arredondo, Carmen, Chelo y Gabriel Rendón, gracias por escucharme y por sus palabras cuando las necesite.

A toda la gente que hizo posible que yo alcanzara este sueño.

ÍNDICE

Capitulo I. Introducción.....	1
I. 1 Introducción.....	1
I. 2 Antecedentes.....	5
I. 2. 1 Antecedentes Generales.....	5
I. 2. 2 Antecedentes Particulares.....	7
I. 3 Hipótesis.....	9
I. 4 Objetivo.....	9
Capitulo II. Metodología.....	10
II. 1 Área de Estudio.....	10
II. 2 Metodología.....	14
II. 2. 1 Perfiles.....	14
II. 2. 2 Granulometría.....	15
II. 2. 3 Oleaje.....	16
Capitulo III. Resultados.....	18
III. 1 Perfiles.....	18
III. 2 Tendencias Texturales.....	27
III. 2. 1 Media.....	27
III. 2. 2 Clasificación.....	27
III. 2. 3 Asimetría.....	28
III. 3 Corrientes Litorales por Sedimentos.....	34

III. 4 Refracción.....	38
Capitulo IV. Discusión.....	47
IV. 1 SWAN.....	47
IV. 2 Granulometría.....	49
IV. 3 Perfiles.....	50
Capitulo V. Conclusión.....	54
Referencias.....	55

Índice de figuras

Figura 1. Localización de la bahía de Banderas en el cuadro superior derecho. El cuadro inferior izquierdo, muestra el área de estudio en coordenadas UTM	10
Figura 2. Localización de la playa el Salado (coordenadas UTM). Se observa la separación por playas y las obras de protección que se presentan en cada una de ellas	12
Figura 3. Playa 2, 1 Espión en construcción, 2 y 3 enrocamientos, 4 Espigón	20
Figura 4. Playa 3, la flecha muestra el Bolsacreto	21
Figura 5. Izquierdo; Perspectiva en tercera dimensión. Derecho; perfiles que se presentaron en esta playa	22
Figura 6. Izquierdo; Perspectiva en tercera dimensión. Derecho; perfiles que se presentaron en esta playa	23
Figura 7. Izquierdo; Perspectiva en tercera dimensión. Derecho; perfiles que se presentaron en esta playa	24
Figura 8. Izquierdo; Perspectiva en tercera dimensión. Derecho; perfiles que se presentaron en esta playa	25
Figura 9. Izquierdo; Perspectiva en tercera dimensión. Derecho; perfiles que se presentaron en esta playa	26
Figura 10. Distribución espacial del tamaño medio del grano, en escala phi	29
Figura 11. Distribución espacial de los coeficientes de clasificación	30
Fig12. Distribución espacial de los valores de asimetría	31
Figura 13. Gráfica binaria de Media vs. Distancia	32
Figura 14. Gráfica binaria de Media vs. Clasificación	32
Figura 15. Gráfica binaria de media vs. Asimetría	33
Figura 16. Gráfica binaria de Clasificación vs. Asimetría	33
Figura 17. Variación a lo largo de la playa 1 de media y clasificación para inferir la dirección del Transporte Litoral (flechas)	34
Figura 18. Variación a lo largo de la playa 2 de media y clasificación para inferir la	

dirección del Transporte Litoral (flechas)	35
Figura 19. Variación a lo largo de la playa 3 de media y clasificación para inferir la dirección del Transporte Litoral (flechas)	35
Figura 20. Variación a lo largo de la playa 4 de media y clasificación para inferir la dirección del Transporte Litoral (flechas)	36
Figura 21. Variación a lo largo de la playa 5 de media y clasificación para inferir la dirección del Transporte Litoral (flechas)	36
Figura 22. Corrientes Litorales a lo largo de la Playa el Salado, obtenidas de los parámetros estadísticos sedimentarios. Los números indican obras de protección: Espigón (1), Enrocamiento (2), Bolsacreto (3)	37
Figura 23. Simulación 1. Izquierda arriba, esquema del campo de oleaje para la Bahía Banderas, malla de 49 x 24 puntos, $\Delta x = \Delta y = 1$ km. Derecha, acercamiento para la Playa El Salado, malla de 40 x 20 puntos, $\Delta x = \Delta y = 100$ m (en los puntos rosas se encuentran las obras de protección). Contornos batimétricos y escala de H_s (tonos azules) en metros. Izquierda abajo, Resultados para cada uno de los puntos H_s , T_p y dirección con la que arribó el oleaje en esta simulación	40
Figura 24. Simulación 2. Izquierda arriba, esquema del campo de oleaje para la Bahía Banderas, malla de 49 x 24 puntos, $\Delta x = \Delta y = 1$ km. Derecha, acercamiento para la Playa El Salado, malla de 40 x 20 puntos, $\Delta x = \Delta y = 100$ m (en los puntos rosas se encuentran las obras de protección). Contornos batimétricos y escala de H_s (tonos azules) en metros. Izquierda abajo, Resultados para cada uno de los puntos H_s , T_p y dirección con la que arribó el oleaje en esta simulación	41
Figura 25. Simulación 3. Izquierda arriba, esquema del campo de oleaje para la Bahía Banderas, malla de 49 x 24 puntos, $\Delta x = \Delta y = 1$ km. Derecha, acercamiento para la Playa El Salado, malla de 40 x 20 puntos, $\Delta x = \Delta y = 100$ m (en los puntos rosas se encuentran las obras de protección). Contornos batimétricos y escala de H_s (tonos azules) en metros. Izquierda abajo, Resultados para cada uno de los puntos H_s , T_p y dirección con la que arribó el oleaje en esta simulación	42

Figura 26. Simulación 4. Izquierda arriba, esquema del campo de oleaje para la Bahía Banderas, malla de 49 x 24 puntos, $\Delta x = \Delta y = 1$ km. Derecha, acercamiento para la Playa El Salado, malla de 40 x 20 puntos, $\Delta x = \Delta y = 100$ m (en los puntos rosas se encuentran las obras de protección). Contornos batimétricos y escala de H_s (tonos azules) en metros. Izquierda abajo, Resultados para cada uno de los puntos H_s , T_p y dirección con la que arribó el oleaje en esta simulación	43
Figura 27. Simulación 5. Izquierda arriba, esquema del campo de oleaje para la Bahía Banderas, malla de 49 x 24 puntos, $\Delta x = \Delta y = 1$ km. Derecha, acercamiento para la Playa El Salado, malla de 40 x 20 puntos, $\Delta x = \Delta y = 100$ m (en los puntos rosas se encuentran las obras de protección). Contornos batimétricos y escala de H_s (tonos azules) en metros. Izquierda abajo, Resultados para cada uno de los puntos H_s , T_p y dirección con la que arribó el oleaje en esta simulación	44
Figura 28. Simulación 1 (Oleaje extremo). Izquierda arriba, esquema del campo de oleaje para la Bahía Banderas, malla de 49 x 24 puntos, $\Delta x = \Delta y = 1$ km. Derecha, acercamiento para la Playa El Salado, malla de 40 x 20 puntos, $\Delta x = \Delta y = 100$ m (en los puntos rosas se encuentran las obras de protección). Contornos batimétricos y escala de H_s (tonos azules) en metros. Izquierda abajo, Resultados para cada uno de los puntos H_s , T_p y dirección con la que arribó el oleaje en esta simulación	45
Figura 29. Simulación 2 (Oleaje extremo). Izquierda arriba, esquema del campo de oleaje para la Bahía Banderas, malla de 49 x 24 puntos, $\Delta x = \Delta y = 1$ km. Derecha, acercamiento para la Playa El Salado, malla de 40 x 20 puntos, $\Delta x = \Delta y = 100$ m (en los puntos rosas se encuentran las obras de protección). Contornos batimétricos y escala de H_s (tonos azules) en metros. Izquierda abajo, Resultados para cada uno de los puntos H_s , T_p y dirección con la que arribó el oleaje en esta simulación	46
Figura 30. Construcción en obra negra dentro de la playa 1 que presenta erosión	51
Figura 31. Playa 1, Escollera del puerto	51
Figura 32. Playa 4. 1 Enrocamiento, 2 Bolsacreto en forma de rompeolas, formando un tómbolo	52

Figura 33. Entre playa 4 y 5, Hotel Melia	52
Figura 34. Entre playa 4 y 5, se observa arena en la base	53
Figura 35. Batimetría de la zona de estudio, realizada en Abril del 2003	53

Índice de tablas

Tabla I. Localización sobre el perfil de donde se tomaron las muestras sedimentarias	15
Tabla II. Condiciones de Frontera utilizadas para el SWAN	17
Tabla III. Área (m^2) y Volumen (m^3) para cada playa, el corte para calcular el área y volumen es BMI (Bajamar Media Inferior	19

I. 1 Introducción

La zona costera en el mundo representa una de las regiones más variables y complejas de nuestro planeta, pues forma la única interfase entre los tres principales ambientes de la tierra: los continentes, el océano y la atmósfera.

Al considerar la variabilidad y fragilidad de la línea de costa es necesario entender como se ajusta esta, a las interacciones que la modifican. Las interacciones entre los tres ambientes dan lugar a la formación de depósitos de sedimento no consolidado denominados playas, caracterizadas por su gran dinamismo debido a la influencia directa de fuerzas como el arribo constante de oleaje, corrientes costeras, mareas, viento así como fuerzas derivadas de los aportes de sedimento, y corrientes litorales.

El oleaje es el factor principal que controla la configuración de la línea de costa. Este es generado en mar abierto y se transforma al entrar en aguas someras, debido al cambio en la profundidad (rasgos batimétricos) produciendo cambios en las propiedades del oleaje, tales como la altura, longitud de onda y ángulo de aproximación. Los rasgos batimétricos determinan la concentración o disipación de energía del oleaje que arriba a la costa, debida a procesos de refracción y difracción. La refracción es el cambio en la dirección del oleaje por la disminución en la profundidad, donde las crestas del oleaje tienden a ser paralelas a los contornos de profundidad. La difracción es un proceso donde la energía de ola es interrumpida transfiriéndose lateralmente a lo largo de la cresta de la ola formando zonas de sombra (Komar,1976).

La disipación de energía al romper la ola en la playa, origina una corriente litoral y la suspensión del sedimento que se mueve a través de esta. Este movimiento del sedimento en la zona de disipación de energía puede ser perpendicular o paralelo a la costa y depende del ángulo de incidencia y la amplitud del oleaje, que genera una componente de energía a lo largo de la playa en dirección de la aproximación de la ola. Lo anterior da como resultado la generación de las corrientes cercanas a la costa con un flujo paralelo a la línea de costa en la zona de surf (Inman, 1971), así como reflujos perpendiculares a la costa, debidas a conservación de masa, llamadas también corrientes de retorno.

La interacción entre estas corrientes produce variaciones en las playas. Para estimar las variaciones en el tiempo que se dan en la morfología de las playas se utiliza el monitoreo topográfico de su perfil, que actúa como un mecanismo de disipación de energía de olas y viento protegiendo la parte posterior de la playa (Komar, 1976). Estas interacciones se ven afectadas bajo eventos extremos (tormentas y huracanes).

Los eventos extremos son otra influencia importante sobre las playas, durante este tipo de eventos se conjugan una serie de factores físicos que pueden ocasionar gran cantidad de erosión en una playa en periodos de tiempo muy cortos, tales como aumentos en la altura y periodo de la ola, así como de aumentos locales del nivel medio del mar. Para evitar grandes perdidas en eventos de tormenta una herramienta auxiliar es la determinación de zonas de riesgo basándose en el conocimiento del grado de variación que se lleva a cabo sobre la línea de costa durante un ciclo anual, y un estudio sobre la cantidad de sedimento que se mueve sobre la playa y su efecto sobre el perfil (Castillón, 1988).

En la mayoría de las costas la erosión y depositación es parte de un ciclo natural en las playas. Sin embargo este se ve alterado cuando existen desarrollos turísticos, obras portuarias y/o de protección, por el cambio en direcciones y volúmenes de sedimento a lo largo de la costa.

En las ultimas décadas el proceso de erosión costera ha comenzado a ser observado desde la perspectiva humana como un problema ambiental, debido a que cada vez un número mayor de personas viven en la costa, modificando mediante obras costeras, los procesos naturales (Komar, 2000). Para evitar la erosión de una playa el ser humano construye obras de protección, los cuales modifican los patrones de corrientes litorales y la distribución de la energía del oleaje que ingresa a una zona determinada modificando también la distribución y flujo del sedimento que se mueve a lo largo de las playas, provocando erosión en algunas zonas y depositación en otras (Galindo, 1997). Para una mejor planeación de las obras, es indispensable conocer los fenómenos que afectan a la zona donde se desea realizarlas, para lo cual es necesario la utilización de varios estudios, entre los cuales, es básico el de la dirección del transporte litoral(Méndez, 1982).

Los mecanismos más comunes para prevenir o disminuir la erosión son: Espigones, Muros, Rompeolas, enrocamientos y Relleno artificial (Ross, 1988). Tales estructuras actúan como trampas de sedimentos causando depositación y erosión. Esto frecuentemente tiene consecuencias severas en la costa, por esta razón es de interés la cuantificación del transporte litoral y los procesos que producen estos movimientos (Komar, 1976).

Puerto Vallarta es un destino turístico del Pacífico mexicano en el se cuenta con una gran infraestructura del sector hotelero, la presencia recurrente de la temporada de tormentas

tropicales y en algunas ocasiones huracanes, ocasionan diferentes grados de erosión en las playas, lo que ha llevado a la construcción de obras de protección, para resguardar las playas y la infraestructura hotelera.

La playa El Salado parte de la zona hotelera de Puerto Vallarta, se ha visto seriamente afectada por el acortamiento de sus playas, las condiciones en las que se encuentran no son adecuadas, puesto que la mayoría en marea alta se cubren totalmente y en casos extremos se encuentra que la infraestructura ya esta dañada por la erosión que se presenta. Esto ha llevado a la construcción de diferentes obras de protección, entre las estructuras que se presentan en esta área son: Espigones, Rompeolas paralelos, Enrocamientos, Bolsacreto (costales de concreto), Playas de Bolsillo, Tombolos y Paredes. Al no contar con los estudios de oleaje, corrientes litorales y análisis sedimentológico, no se conoce si la orientación y el tipo de obras que se han colocado cumplen la función para las que fueron creadas, el efecto que están provocando en el perfil de playa y las condiciones de las mismas.

Por lo anterior es importante generar una base de datos, donde se tengan estudios sedimentológicos y de oleaje para determinar las condiciones de la zona así como para ser comparados con estudios posteriores, de esta manera se obtendrá una buena planificación para la zona y minimizará los daños que se presenten en la infraestructura hotelera.

I. 2 Antecedentes

I. 2. 1 Antecedentes Generales

Rubio Orozco (1987), por medio de perfiles de playa medidos entre el arroyo El Gallo y El Estero de Punta Banda (Ensenada B. C.) durante un año presenta las modificaciones de la línea de costa por erosión y depositación en las estaciones verano-otoño y primavera-invierno concluyendo que las modificaciones presentadas son debidas al ciclo anual y al efecto producido por la construcción de estructuras costeras.

Wright y Short (1983), en su estudio sobre morfodinamismo de la zona de rompiente en las playas de Australia, determinan que la morfología de una playa esta en condiciones de viento y marea así como de los estados anteriores de la playa y con base en estas características, el nivel en la variación en la posición de la línea de costa y la forma del perfil definen la movilidad de la playa.

Baca (1981), con un estudio en La Bahía de Todos Santos (Ensenada B.C.), basándose en parámetros texturales obtiene las corrientes litorales, concluye que en Punta Banda la corriente litoral es hacia el norte de la Bahía mientras que en el noroeste- Punta San Miguel- es hacia el sur.

López Luna (1990), cuantifica el volumen de sedimento trasportado por la corriente litoral mediante la realización de perfiles de playa obteniendo que la playa se erosiona en el área del rompeolas, por una posible difracción del oleaje.

Sunamura y Horikawa (1971), determinaron el sentido del transporte litoral a partir de las variaciones de las características de los sedimentos en las arenas de playa; comparando el tamaño medio de los sedimentos y el coeficiente de clasificación a lo largo de la playa. Consideraron que la dirección del transporte litoral deberá ser determinado no solo a partir del tamaño medio de grano sino como una combinación del tamaño y la dispersión.

De acuerdo a Noble (1978), uno de los principales efectos de la construcción de las obras de protección sobre la costa es la erosión y esto aunado a una falta de planeación, ha dado como resultado el que las obras requieran de inversiones en reparaciones o mantenimiento, resultado similar al expresado por Leidsford *et al.* (1994, en Guardado, 1997) en su estudio sobre la intervención Humana en las playas de Santa Mónica (EUA).

Castillon (1988), cuantificando el volumen de sedimento depositado y erosionado en la Bahía Todos Santos en presencia de espigones y rompeolas. Concluye que el efecto del espigón sobre la deriva litoral así como la modificación del patrón de arribo del oleaje por la presencia del rompeolas ocasiona variaciones en el perfil de playa. Dando como resultado la depositación en la parte norte y erosión en la parte sur del espigón.

Según Bird (1986), algunos factores que inician o aceleran la erosión de las playas son la disminución en el volumen de material de la playa como resultado de factores climáticos, la disolución y el acarreo de los granos de arena hacia la parte baja de la cara de la playa y un consecuente incremento en la energía del oleaje, así como también la pérdida de arena a lo largo de la playa como resultado de un cambio en el ángulo de incidencia del oleaje sobre la costa (Castillon, 1988).

I. 2. 2 Antecedentes Particulares

En la zona se han realizado muy pocos estudios que indiquen las condiciones en que se encuentran las playas y las obras de protección que estas presentan y aquellos que se han llevado a cabo es para construcción de obras de la Federación, como lo es el Puerto. Otros los ha llevado a cabo el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), aunque un poco limitados puesto que solo se refieren a la economía, geología y topografía de Puerto Vallarta.

Kreeke, *et al.* (2001), realizaron un estudio en la zona para demostrar la importancia de las corrientes de descarga (algunos ríos en la zona), los cantiles, corrientes litorales y los sedimentos sobre las fuentes y perdidas de sedimento en las playas. Definen la Costa de Banderas como playas relativamente estrechas y algunas de bolsillo separadas por resaltados cantiles, que se encuentran relativamente estables (erosión-depositación) durante condiciones normales de clima, solo después del paso de tormentas tropicales y huracanes se observan distintos signos de erosión. Concluyen que las playas son alimentadas principalmente por corrientes de descarga, sedimento proveniente de mas allá de la rompiente y los cantiles. Las corrientes litorales transportan un volumen pequeño de sedimento sin una dirección neta. La contribución de los cantiles es evidente por su erosión y en su mayoría este sedimento es clástico. En las playas de la Costa de Banderas se encuentran sedimentos clásticos y la fracción

carbonatada, esta proviene de las celdas litorales que llevan sedimento de mas allá de la rompiente a la cara de la playa.

Los vientos dominantes en la región se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

1. Período Noviembre-Abril

Estación más cercana "La Desembocada"

25% de frecuencia con dirección W-E

50% de frecuencia con dirección E-W

36% de calmas

2. Período de Noviembre-Abril

Estación más cercana 14.075 "Puerto Vallarta"

75% de frecuencia con dirección SW-NE

25% de frecuencia con dirección W-E

12.5% de frecuencia con dirección S-N

(INEGI)

I. 3 Hipótesis

Las obras de protección que se encuentran dentro de la zona de estudio interfieren con el patrón de oleaje y transporte litoral lo que puede resultar en efectos negativos a las playas.

I. 4 Objetivo

Estimar la dinámica sedimentaria en La Playa El Salado y si las obras de protección tienen algún efecto sobre esta.

II. 1 Área de Estudio

El municipio de Puerto Vallarta está situado al poniente del Estado de Jalisco dentro de Bahía de Banderas, en las coordenadas 20°27'00" a los 20°59'00" de latitud norte y los 104°55'00" a los 105°33'00" de longitud oeste, a una altura de 2 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con el estado de Nayarit, al sur con el municipio de Cabo Corriente y Talpa de Allende; al oriente con San Sebastián y Mascota y al poniente con el Océano Pacífico. Esta Bahía cuenta con una profundidad máxima de 1,436 m. La playa El Salado localizada dentro de Puerto Vallarta, entre los 105° 14' 48.94" a 105° 15' 17.01" de Longitud Norte y 20° 39' 10.43" a 20° 39' 30.36" de Longitud Oeste.

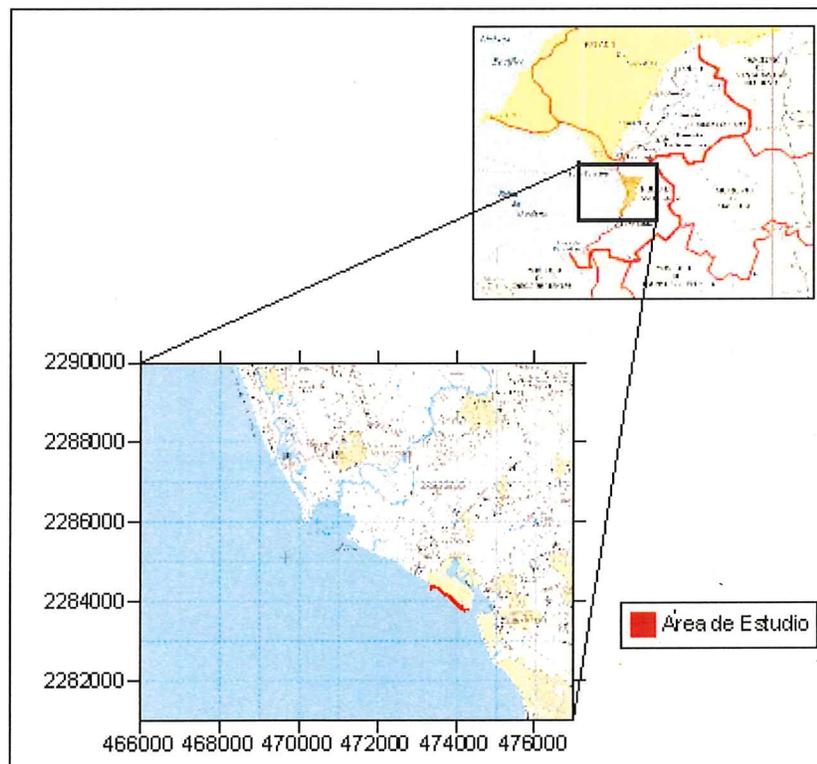


Figura 1. Localización de la bahía de Banderas en el cuadro superior derecho. El cuadro inferior izquierdo, muestra el área de estudio en coordenadas UTM.

Geología.- El territorio está constituido por terrenos del período triásico-jurásico, este último, notable por el depósito de espesas capas calcáreas, donde se encuentran rocas como: Ígnea intrusiva (mesozoico, cretácico), Ígnea extrusiva (Cenozoico terciario), Sedimentaria (cenozoico cuaternario).

Topografía.- El municipio de Vallarta cuenta con muy pocas zonas planas, éstas se localizan principalmente en la margen derecha del río Ameca y por la costa desde su desembocadura hasta la del río Cuale hacia el sur. La mayor parte de la superficie está ocupada por zonas accidentadas, al oriente las sierras de San Sebastián y de Cuale, que forman parte de la Sierra Madre Occidental, lo protegen de los vientos y sirven como moderadores del clima. La Sierra de Cuale llega hasta la costa formando imponentes acantilados empezando al sur de la cabecera municipal y continúa al sur hasta formar el Cabo Corrientes. Las principales alturas son: el Picacho de Palo María de 1,600 metros, el Cerro de la Aguacatera, de 1,500 y la Torrecilla de 1,250 metros sobre el nivel del mar.

El clima es semitropical y húmedo, la temperatura máxima es de 31° C. en el verano y la mínima de 19° C. en el invierno; la media anual es de 25° C. La temporada de lluvias abarca de mediados del mes de junio a finales del mes de agosto, continuando con lluvias aisladas hasta mediados de octubre; tiene una precipitación media anual de 1,417 milímetros.

Hidrografía: El municipio de Vallarta está regado al norte por los ríos Ameca que sirve de límite entre los estados de Jalisco y Nayarit, el Mascota que descarga sus aguas en el anterior

cerca del poblado de Las Juntas, El Pitillal, La Vena de Santa María y El Cuale, que cruza la ciudad. Al sur se encuentra los arroyos de Las Amapas, Las Estacas, El Carrizo, Palo María, Mismaloya, Los Horcones y el de Quimixto. Al norte de la ciudad se encuentra el Salado.

Por otro lado, el estero el Salado está considerado como una de las 17 cuencas de drenaje del municipio de Puerto Vallarta; además, se considera, junto con los ríos Mascota, Pitillal y vena Santa María, como una de las zonas con mayor incidencia de pozos de agua subterránea.

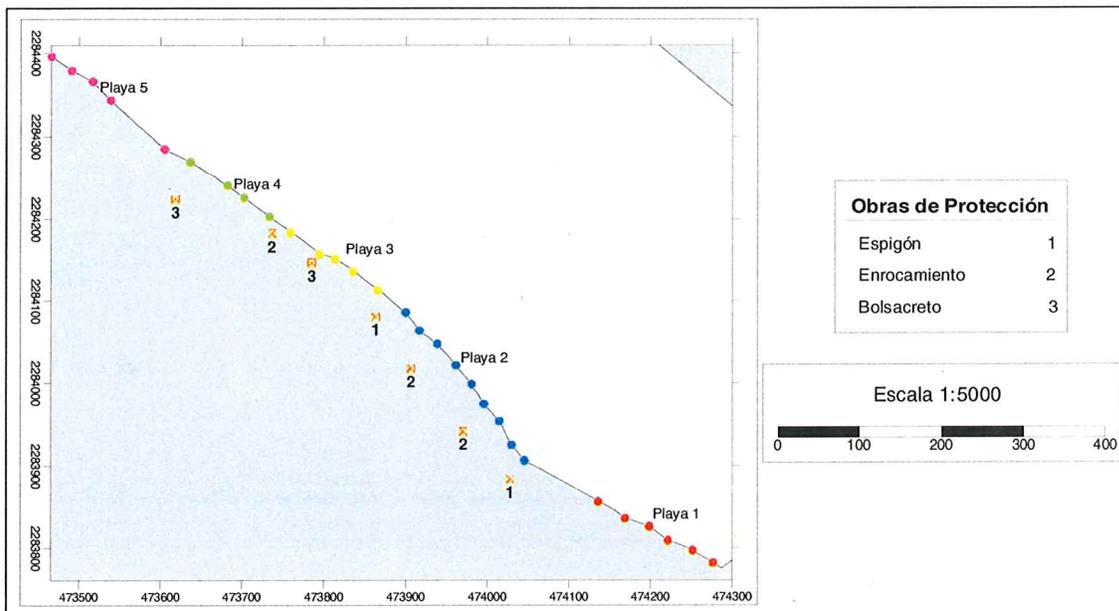


Figura 2. Localización de la playa el Salado (coordenadas UTM). Se observa la separación por playas y las obras de protección que se presentan en cada una de ellas.

La playa de estudio localizada entre los $105^{\circ} 14' 48.94''$ a $105^{\circ} 15' 17.01''$ de Longitud Norte y $20^{\circ} 39' 10.43''$ a $20^{\circ} 39' 30.36''$ de Longitud Oeste que va del Puerto a el Hotel Marriot. Por el tipo de obras de protección que se presentan y las condiciones de la zona se dividieron en 5 pequeñas playas como se muestra en la figura 2.

Playa 1, es la playa aledaña a la entrada del Puerto. Cuenta con una escollera, pilotes de acero entre la zona de rompiente y la cara de la playa.

Playa 2, pertenece al Hotel Regina. Cuenta con espigones, enrocamientos, tómbolo en formación.

Playa 3, pertenece al Hotel María Palace. Cuenta con rompeolas, espigón, bolsacreto.

Playa 4, pertenece al Hotel Melia. Cuenta con bolsacreto, tómbolo. En este hotel se esta perdiendo infraestructura por la perdida de playa.

Playa 5, es un terreno que se encuentra entre los Hoteles Melia y Marriot. Cuenta solo con un rompeolas y pequeños cantiles.

II. 2 Metodología

II. 2. 1 Perfiles

Este estudio se llevo acabo en el mes de Abril del año 2003. El área de estudio se dividió para su estudio en 5 playas por las obras de protección que se presentan, se realizaron un total de 29 perfiles, los cuales se distribuyen de la siguiente manera:

	No. de Perfiles
Playa 1	6
Playa 2	9
Playa 3	5
Playa 4	4
Playa 5	5

Los perfiles se realizaron para conocer las pendientes de las playas, su longitud, así como para calcular los volúmenes de sedimento que en estas se encuentra.

Los perfiles se obtuvieron mediante la técnica de nivelación topográfica simple de segundo orden que consiste en calcular el desnivel o las diferencias de altura a lo largo de un transecto a intervalos de distancia determinados (Montes de Oca 1989). La cota de referencia para cada uno de los perfiles se obtuvo a través del espejo de agua, esto es que la cota para todos será el nivel de Bajamar Media Inferior (Nivel utilizado como estándar en los estudios del Pacifico Mexicano).

Tabla I. Localización sobre el perfil de donde se tomaron las muestras sedimentarias.

Playa	Perfil	Localización (m)	Playa	Perfil	Localización (m)			
1	1	0	3	1	0			
		10			20			
		40		2	0			
	4	5			25			
		20			3	0		
		40				30		
6	0	0	4	0	0			
		15			20			
2	1	0	4	1	0			
		20			25			
	2	0		0	2	0	0	
				20			20	
	3	0		0	3	0	0	
				20			33	
	4	0		0		0	55	
				35			0	
	5	0		0		4	0	15
				25				0
	6	0		0	25	0	0	
				25			10	
	7	0		0	25	0	0	
				25			20	
	8	0		0	32	0	0	
				15			15	
	9	0		0	15	0	0	
				15			30	
			5	4	0			
					15			
				30	0	0		
						15		
				15	0	0		
						25		

II. 2. 2 Granulometría

Se tomaron 59 muestras de sedimentos. Estas se obtuvieron con un nucleador, sobre diferentes distancias del perfil (Tabla I). Obteniendo tres muestras por perfil en el caso de contar con berma, cara de playa y zona de rompiente y dos donde no existía berma. Las muestras llevan un pretratamiento, que consiste en la eliminación de la materia orgánica y sales solubles,

posteriormente se tamizan y pesan. Con los resultados obtenidos de los pesos, utilizando el método de los momentos de Folk (1974), se obtuvieron parámetros estadísticos de tamaño de grano (media, dispersión, asimetría y kurtosis).

Los datos estadísticos de tamaño de grano, se utilizaron para obtener la distribución de los sedimentos e inferir las corrientes litorales por el método de Sunamura y Horikawa (1971).

II. 2. 3 Oleaje

Se realizó una batimetría. Para obtenerla se utilizó una ecosonda. Se realizaron perfiles de lo más cercano a la playa a aproximadamente un kilómetro mar adentro; con la ecosonda se tomaron, la profundidad, latitud y longitud, generando así una red de datos. Con los datos obtenidos en campo se graficó la batimetría en el programa Surfer 8. Con la batimetría, se realizó refracción.

Para realizar la Refracción se utilizan datos espectrales y estadísticos del oleaje (altura significativa (H_s), periodo a partir del segundo momento espectral (T_{m2}) y dirección media del oleaje (θ_m)), los cuales se obtuvieron del modelo numérico para la simulación de oleaje WAM (Wave Model) a partir de datos de viento, realizados por Francisco J. Ocampo Torres y Pablo Duarte, 2003. El punto del cual se toman los datos de oleaje para esta tesis se localiza a los 21° de Latitud Norte y 107° de Longitud Oeste.

Utilizando el modelo numérico de tercera generación SWAN versión 40.20 (Simulating Waves Nearshore) que describe la evolución de la energía del oleaje por medio de la ecuación de balance de acción (Ris, *et. al.*, 1999). Este modelo se le suministra como entrada una batimetría de 43×49 puntos espaciados a 1 Km y las condiciones de frontera: Altura significativa (H_s (m)), Período del pico espectral (T_p (s)) y Dirección del pico espectral (θ (grados)).

Los resultados que se obtienen son: el ángulo de incidencia (con respecto a la línea de costa) y la altura de la ola para todas las celdas de la malla, así como la altura y ángulo del oleaje en la zona de rompiente.

Los datos de oleaje que se suministran al SWAN se encuentran fuera de Bahía de Banderas, por lo que se utiliza una batimetría de la Bahía para obtener datos puntuales dentro de esta.

Tabla II. Condiciones de Frontera utilizadas para el SWAN.

Condición	Hs (m)	Tm(seg)	Dirección (Grad)
1	1.4	7.18	49.08
2	1.5	7.12	50.84
3	1.6	7.30	52.14
4	1.7	7.17	57.60
5	1.3	6.77	50.13
Extrema-1	2.0	5.50	1.23
Extrema-2	2.0	5.30	358.56

Se realizaron 5 corridas del programa tomando datos de un año (2000) y un evento extremo (Octubre 2002)Tabla II. Con estos datos se pretende también obtener las corrientes litorales para llevar acabo una comparación con los obtenidos de las muestras de sedimento.

III. Resultados

El área de estudio tiene una longitud total de 1005 m, dividida en 5 playas, no se cuenta con datos a todo lo largo de la zona de estudio, esto fue por que entre los perfiles existen zonas donde no existe playa o era menor de los 5 metros.

Los resultados se presentan por variables (perfiles, sedimento, corrientes y oleaje) para cada una de las playas.

III. 1 Perfiles

Los perfiles presentaron diferentes longitudes, desde 15 m hasta 55 m. El espaciamiento entre ellos fue variable, desde 24 m a 102m. La variación que se presentó tanto en longitud como en el espaciamiento de los perfiles se debe a la morfología y construcciones de la zona. Para observar más claramente las diferencias entre perfiles se graficaron en escalas iguales por playas, también se presenta una perspectiva en tercera dimensión para observar los cambios a lo largo y ancho, esto se realizó para cada una de las playas (Figuras 5 a 9). Las áreas se calcularon con el programa Surfer 8, se muestran los datos obtenidos en la tabla III.

La Playa 1 es amplia, donde los perfiles alcanzaron hasta los 40 m. de longitud. Presenta una pendiente promedio de 1:15.5, siendo esta playa la de pendiente mas suave de la zona de estudio (Figura 5). Con un área de 6411.07 m² y un volumen de 7676.876 m³ (Tabla III).

Presenta al final una zona donde no se muestreo ya que no solo es muy pequeña la playa si no que también se estaba construyendo un espigón, el ultimo perfil en esta playa cuenta con una longitud de 15 m. es por un lugar en construcción.

Tabla III. Área (m²) y Volumen (m³) para cada playa, el corte para calcular el área y volumen es BMI (Bajamar Media Inferior).

	Área	Volumen
Playa 1	6411.071	7676.876
Playa 2	8178.187	12535.425
Playa 3	3838.635	3166.291
Playa 4	6424.633	9786.302
Playa 5	5748.986	6804.824

La Playa 2 presenta 4 obras de protección, delimitada por dos espigones y dos enrocamientos en la parte central (Figura 3). La pendiente promedio en esta playa fue la mas abrupta con un cambio de 1:11.7, con longitudes del perfil de 20 hasta 35 metros, los mas largos se presentan del lado derecho de ambos enrocamientos (Figura 6). Con un área de 8178.19 m² y un volumen de 12535.42 m³ (Tabla III).



Figura 3. Playa 2, 1 Espión en construcción, 2 y 3 enrocamientos, 4 Espigón.

En la Playa 3 se encontró que se hace angosta hacia el final, los primeros perfiles presentan longitudes de 30 m y los últimos de 20 m, encontrando los más largos entre el bolsacreto y el espigón (Figura 4). La pendiente promedio fue de 1:13.4(Figura 7). Con un área de 3838.63 m² y un volumen de 3166.29 m³(Tabla III). Al final de esta playa se encuentra una zona donde existe una playa de bolsillo, esta parte no fue muestreada.



Figura 4. Playa 3, la flecha muestra el Bolsacreto.

La Playa 4 presentó longitudes de perfil de 30 m y 55 m el 3^{er} perfil, esto se debe a que sobre este perfil hay un tómbolo en formación. La pendiente promedio es de 1:13.8 (Figura 8). Con una área de 6424.63 m² y un volumen de 9786.30 m³ (Tabla III).

Entre la playa 4 y 5 existe una zona donde no se tomaron datos que ha sufrido una gran erosión por la pérdida de material sedimentario .

La playa cinco presento perfiles de 35 m a 25 m, con cantiles pequeños en la parte posterior. La pendiente promedio es de 1:11.8 esta pendiente también se considera abrupta con referencia a las playas medidas(Figura 9). Con un área de 5748.99 m² y un volumen de 6804.82 m³ (Tabla III).

Playa 1

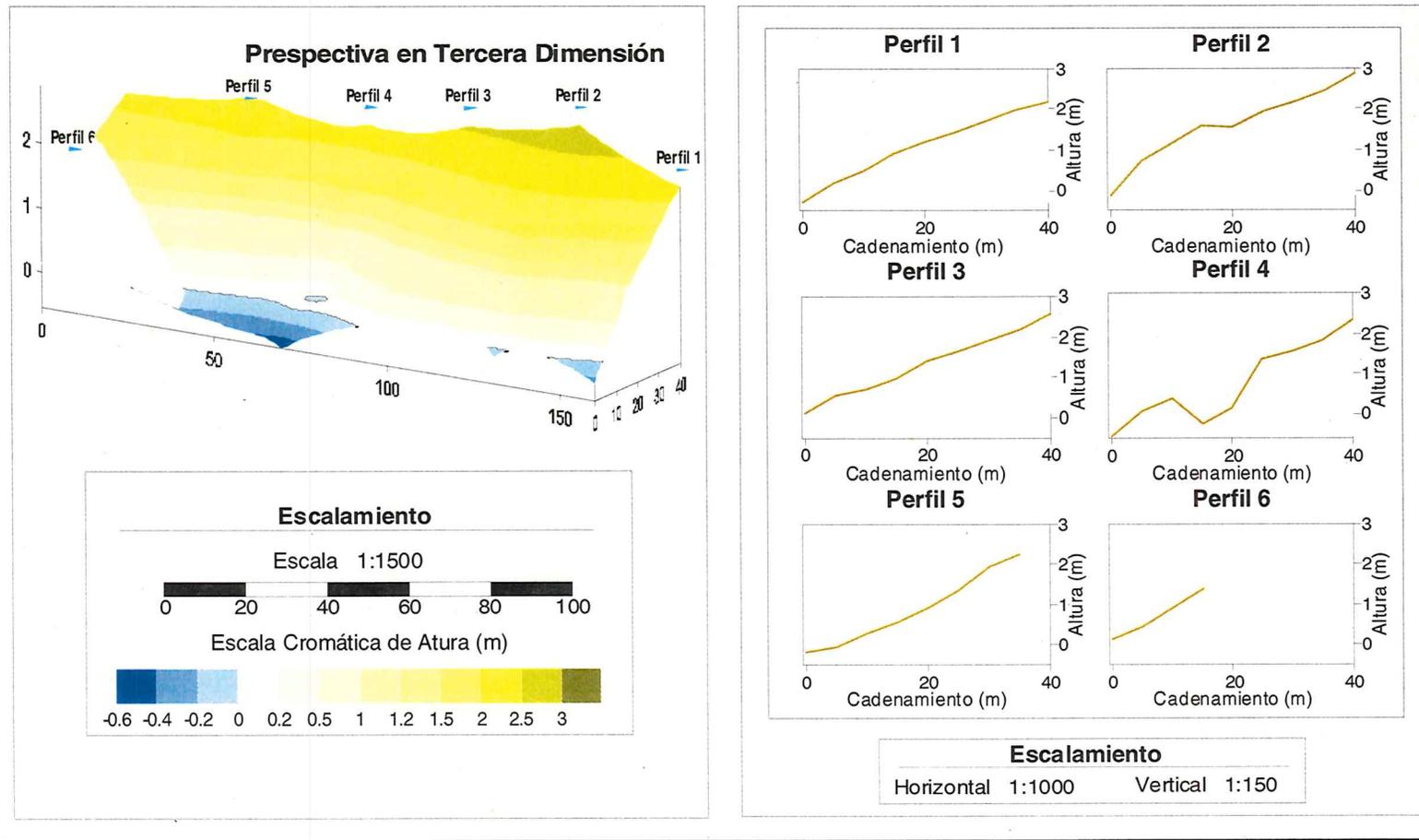


Figura 5. Izquierdo; Perspectiva en tercera dimensión. Derecho; perfiles que se presentaron en esta playa.

Playa 2

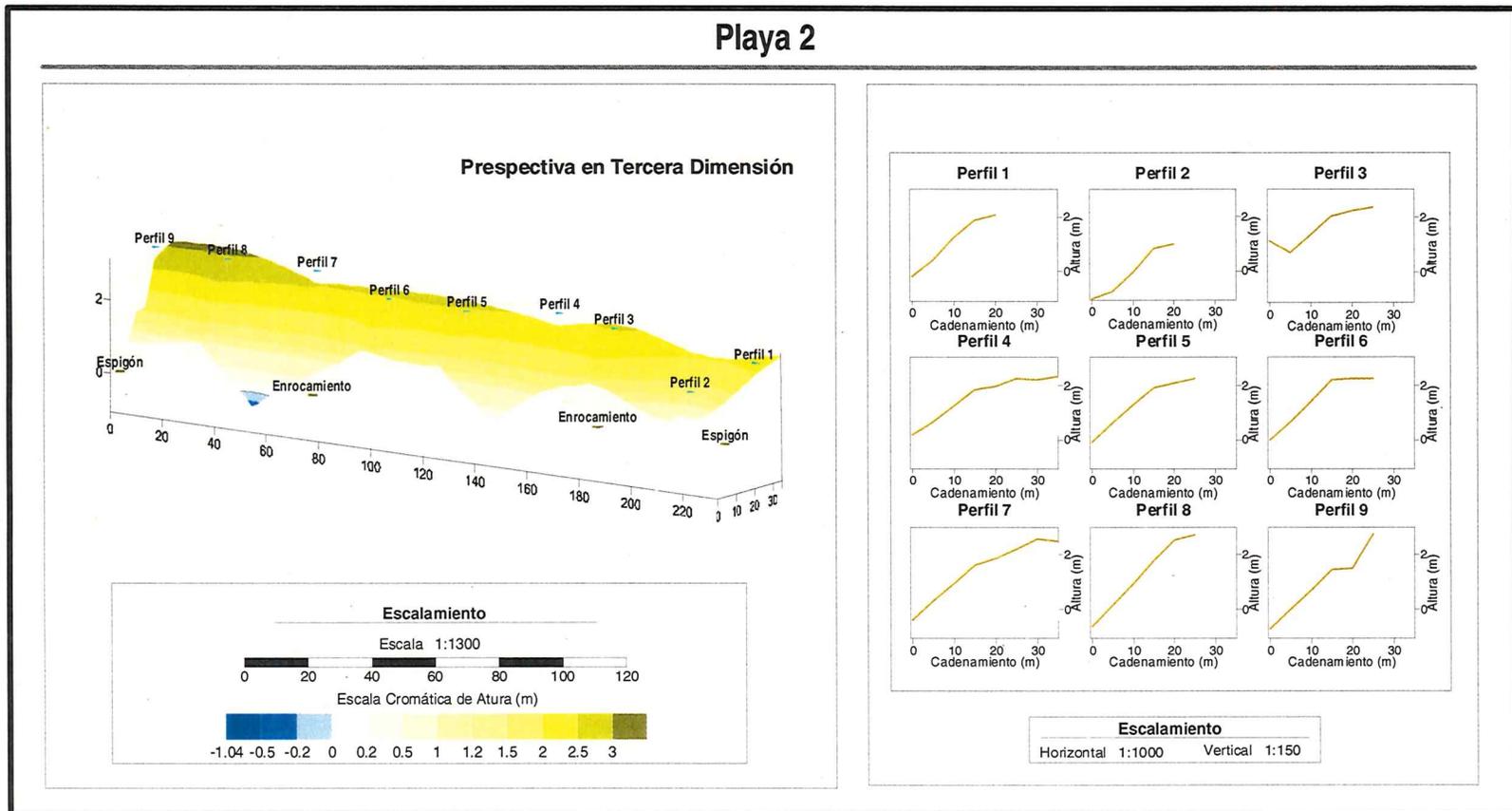


Figura 6. Izquierdo; Perspectiva en tercera dimensión. Derecho; perfiles que se presentaron en esta playa.

Playa 3

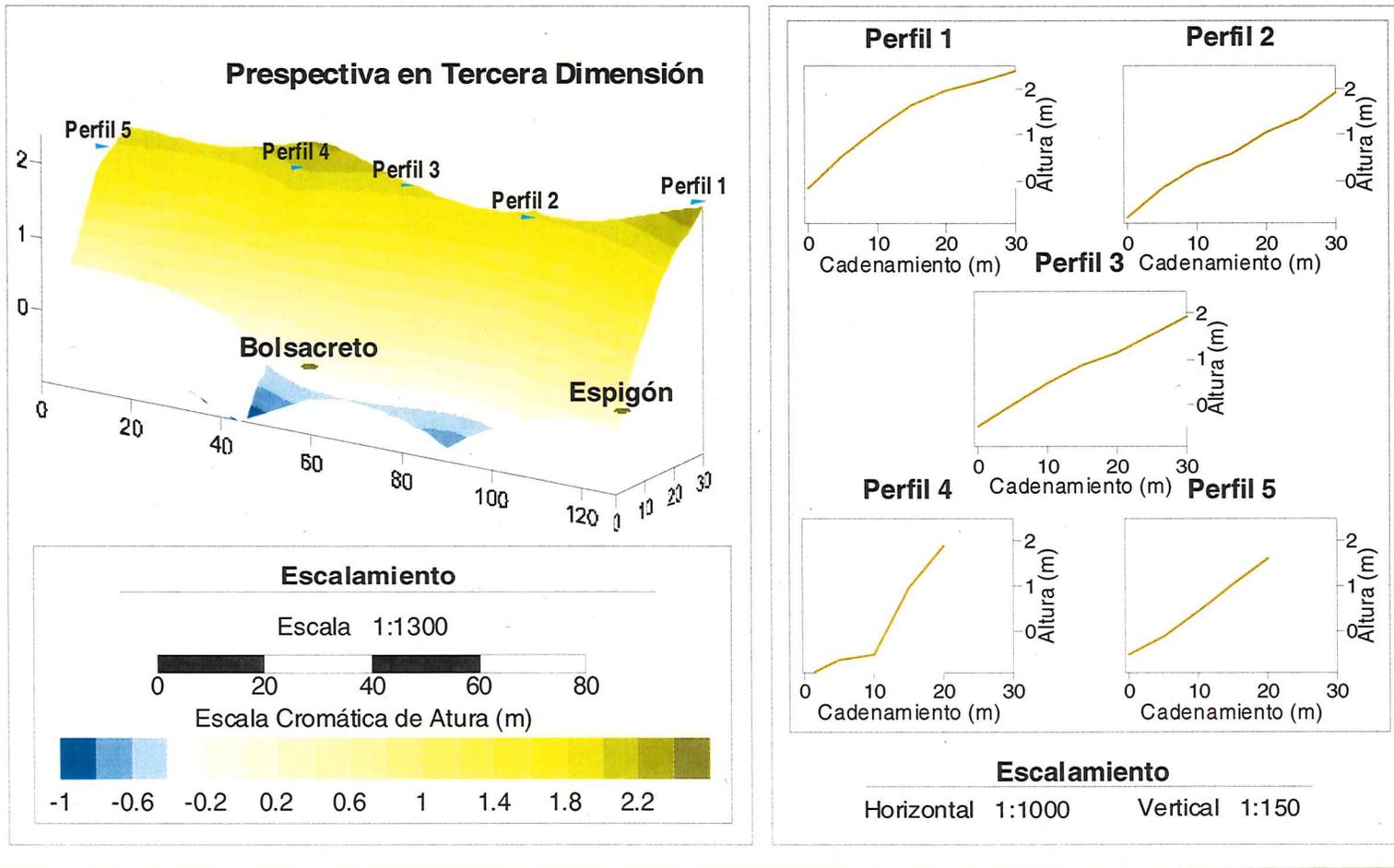


Figura 7. Izquierdo; Perspectiva en tercera dimensión. Derecho; perfiles que se presentaron en esta playa.

Playa 4

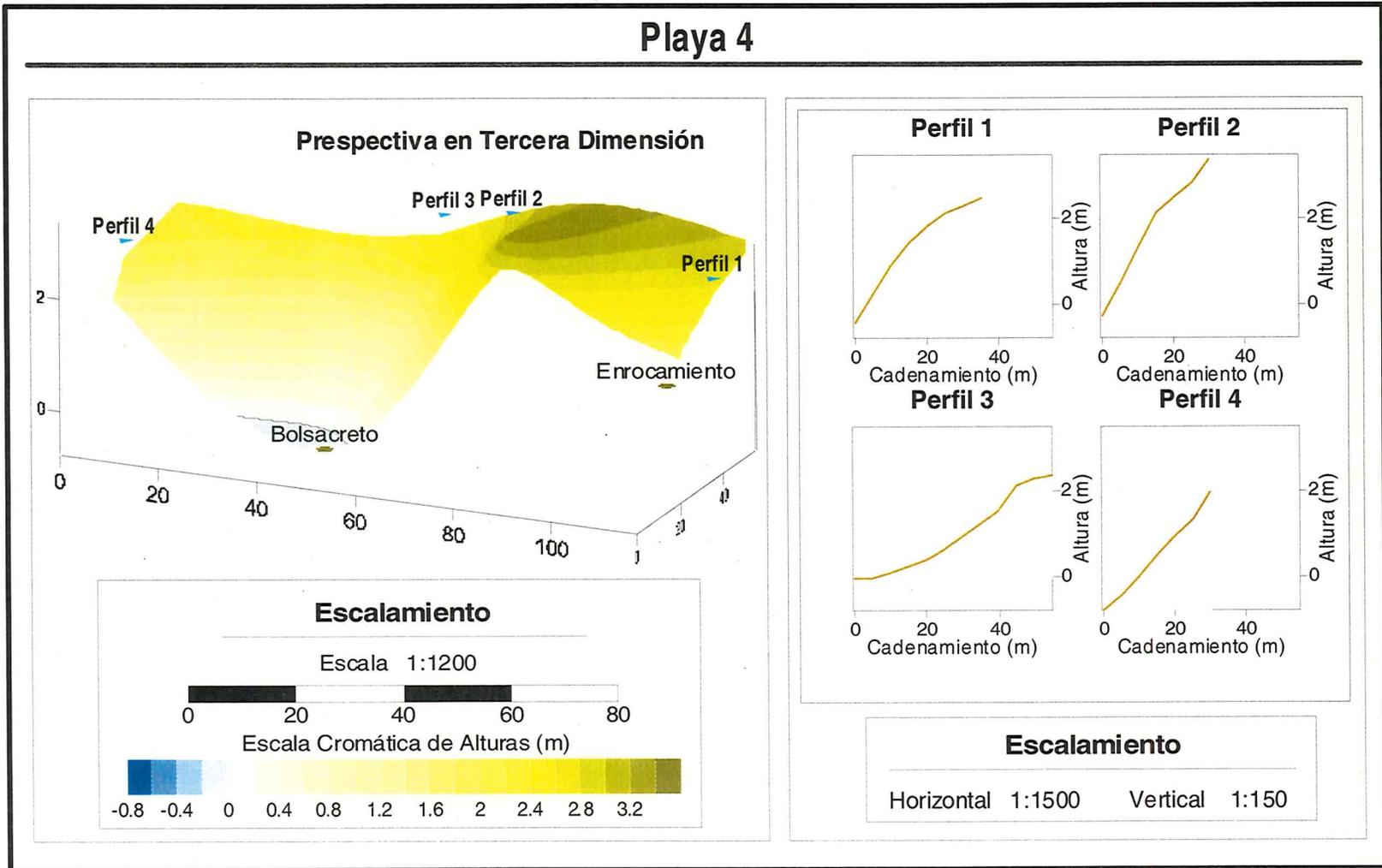


Figura 8. Izquierdo; Perspectiva en tercera dimensión. Derecho; perfiles que se presentaron en esta playa.

Playa 5

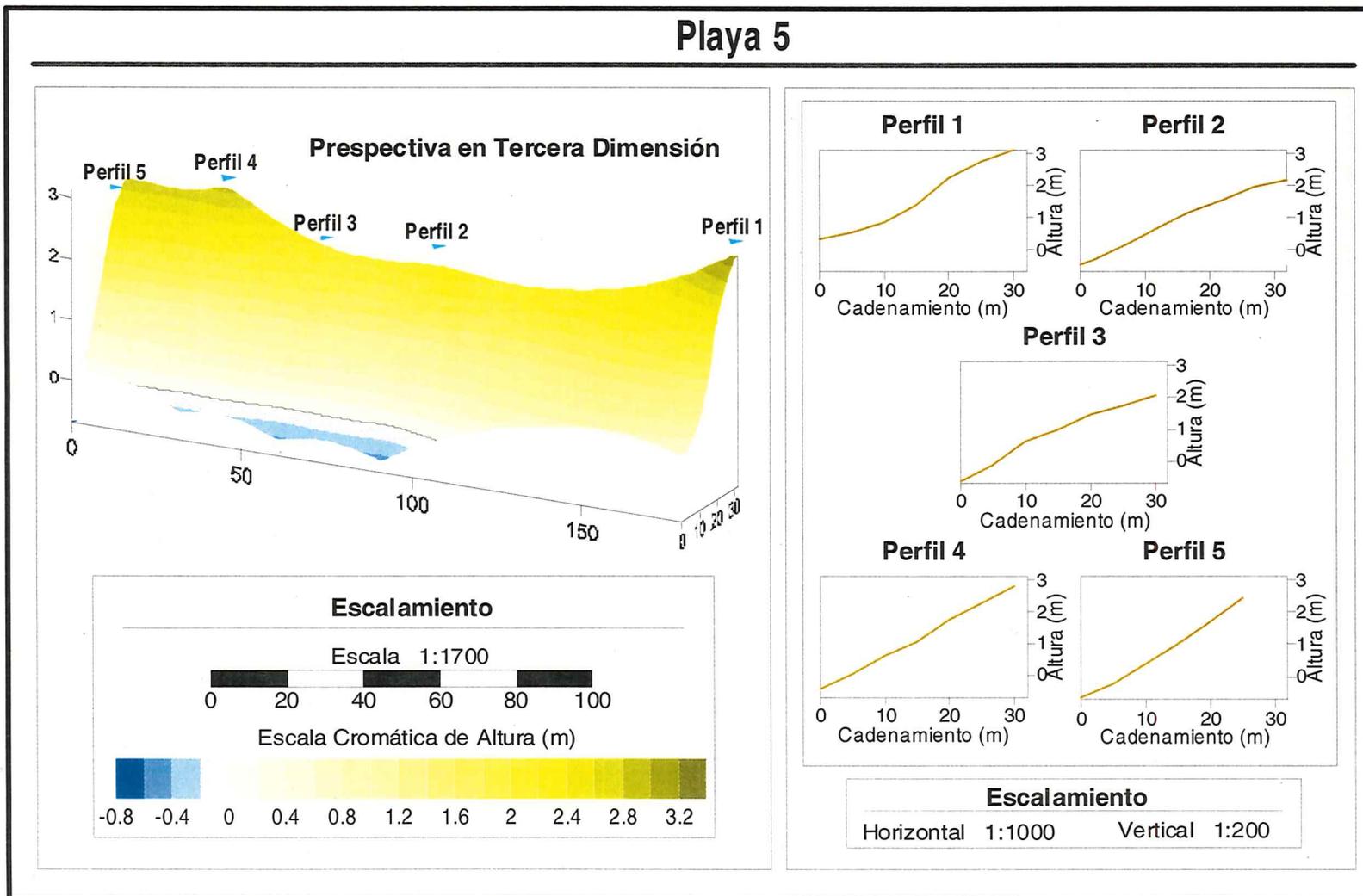


Figura 9. Izquierdo; Perspectiva en tercera dimensión. Derecho; perfiles que se presentaron en esta playa.

III. 2 Tendencias Texturales

III. 2. 1 Media

Los valores más grandes de media presentaron guijarros medianos(-3 phi) y los valores mas pequeños presentaron arena mediana (2 phi), como se muestra en la Figura 10 donde la variación para cada una de las playas, se observa claramente. La playa 1 presenta el tamaño más grande del área de estudio compuesta de guijarros medianos a arena muy gruesa (-3.11 – 0.35 phi), a diferencia de las playas 3, 4 y 5 que presentan tamaños de arena muy gruesa a media (-0.2 – 1.9 phi), en la playa 5 se presentan nuevamente guijarro muy fino (-1.8 phi) proveniente de los pequeños cantiles que se encuentran en ella.

III. 2. 2 Clasificación

Los rangos de esta nos dicen que la zona de estudio va de moderadamente clasificada (0.6) a muy pobremente clasificada (2.4), también observamos los cambios en la Clasificación donde para la playa 1 y 4 encontramos una clasificación de moderadamente bien sorteado a pobremente sorteado (0.7 – 2.2) y la playa 2, 3 y 5 de moderadamente sorteado a pobremente sorteado (0.6 – 1.9), esto es que la mayor variabilidad entre sedimentos se da en el primer grupo (1 y 4) (Figura 11).

III. 2. 3 Asimetría

Se obtuvieron rangos que van de -2 a 2.2 , lo que indica zonas con exceso de material fino como exceso de material grueso (Figura 12).

El exceso en material grueso se presenta en las playas 1 y 5, en las playas centrales se acerca mas a una distribución normal aunque existen zonas con exceso al material fino (Figura 12).

Se realizaron gráficas binarias con el objetivo de identificar ambientes sedimentarios; combinando los diferentes parámetros estadísticos. Observando que en Distancia vs. Media no se observan grupos definidos (Figura 13); en Media vs. Clasificación (Figura 14) y Media vs. Asimetría se define un grupo (Figura 15); en la figura 16 Clasificación vs. Asimetría se definen dos. El primero compuesto por el material contenido en las playas 2, 3 y 4, y el segundo por las playas 1 y 5, esto lo determina el tamaño del sedimento y la clasificación (Figura 14 y 16).

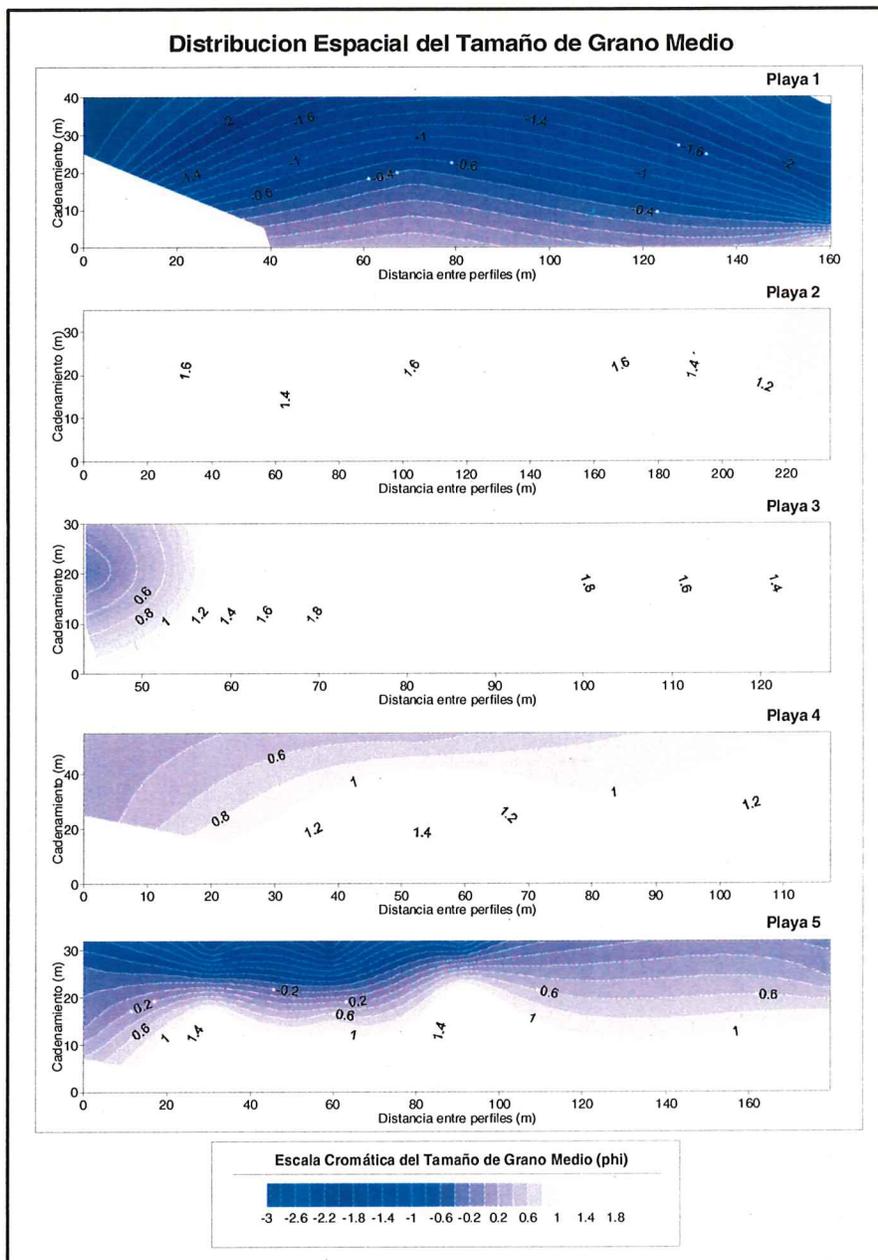


Figura 10. Distribución espacial del tamaño medio del grano, en escala phi.

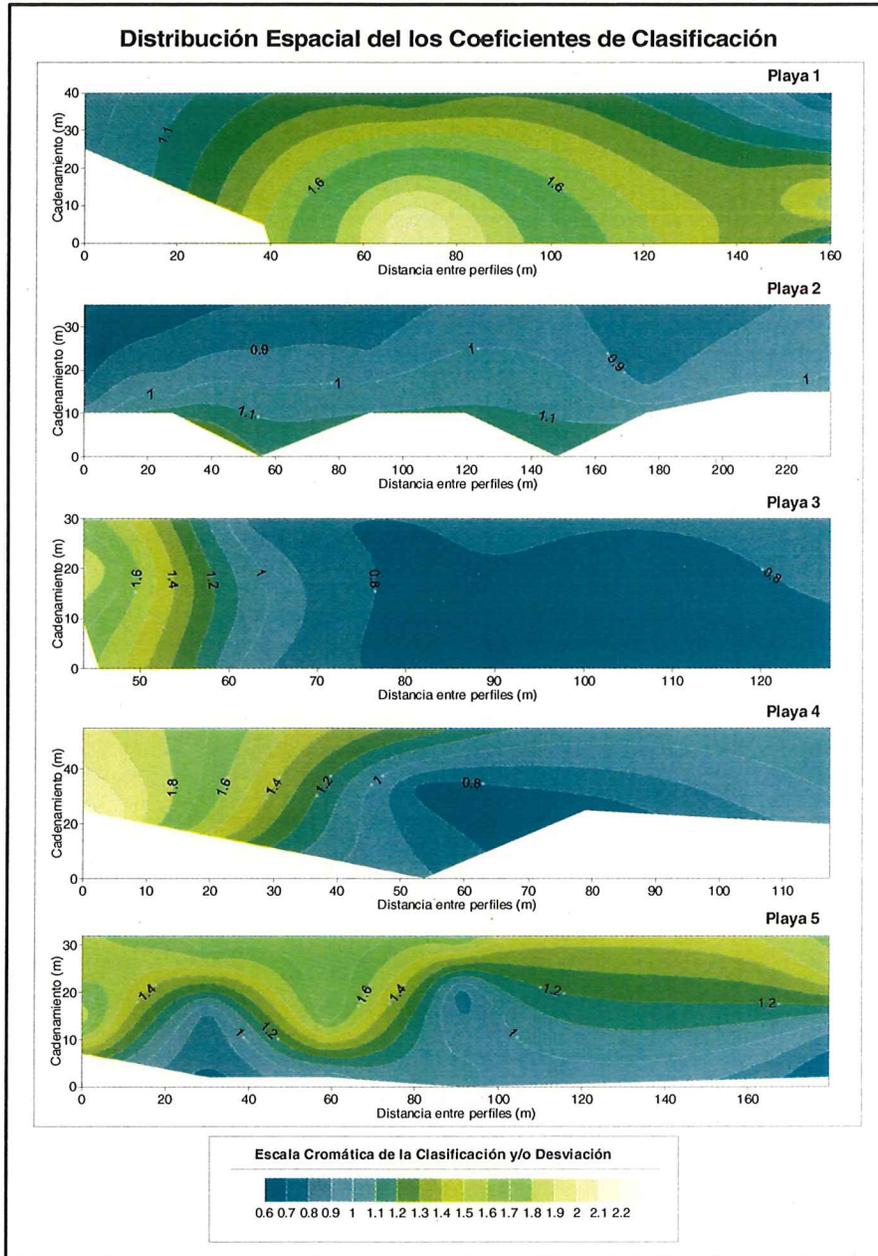


Figura 11. Distribución espacial de los coeficientes de clasificación.

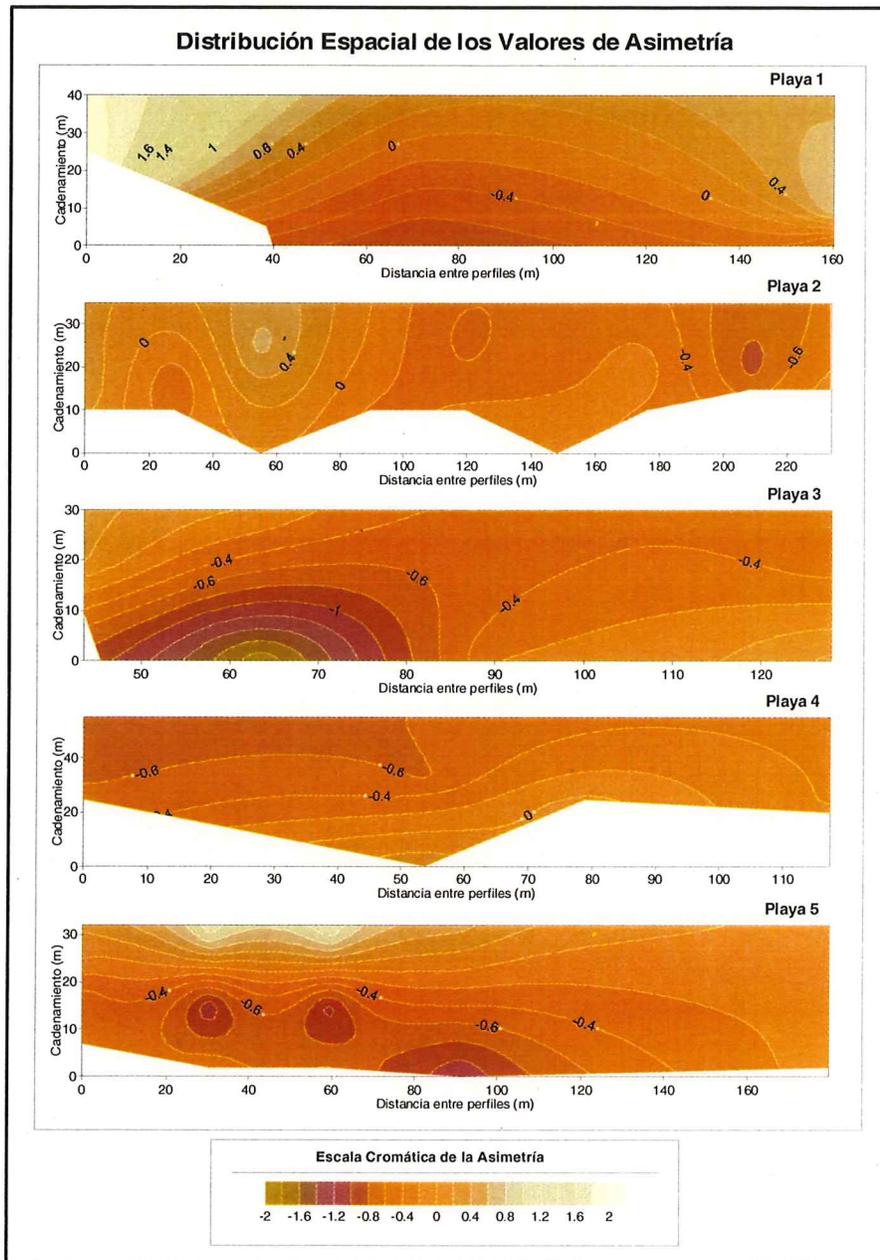


Figura 12. Distribución espacial de los valores de asimetría.

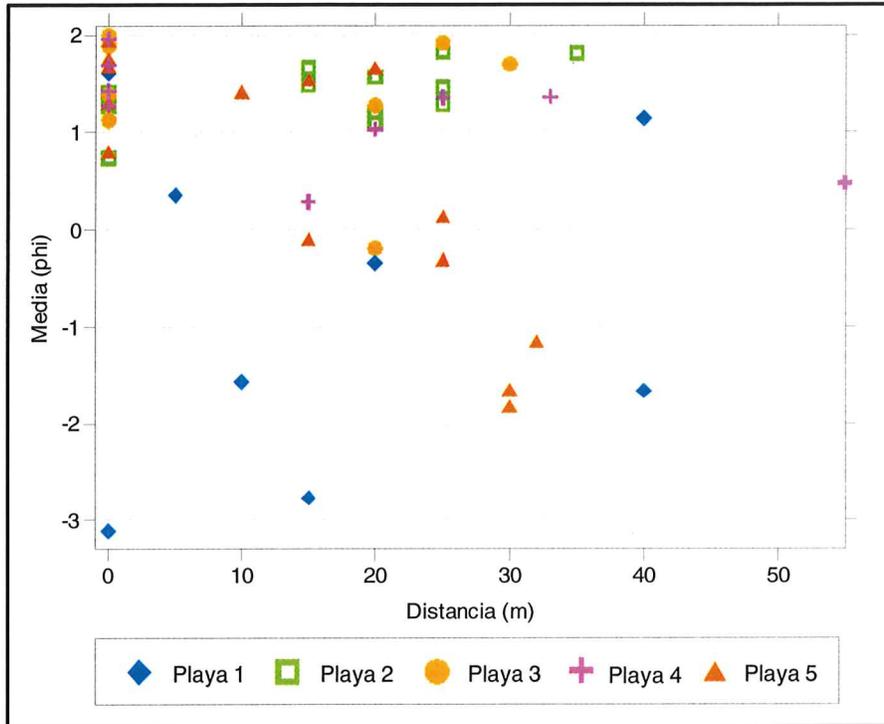


Figura 13. Gráfica binaria de Media vs. Distancia.

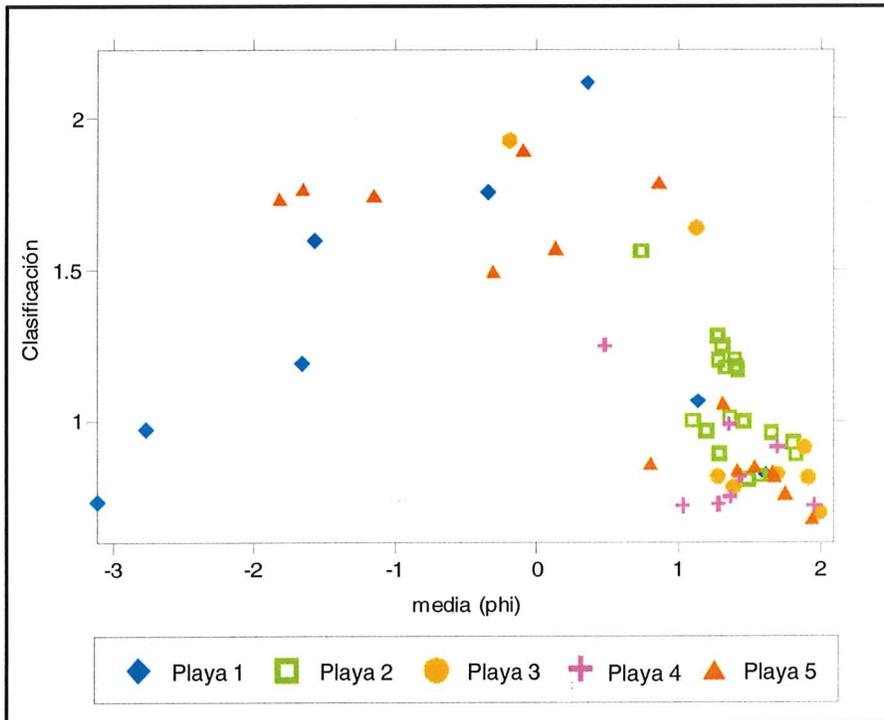


Figura 14. Gráfica binaria de Media vs. Clasificación.

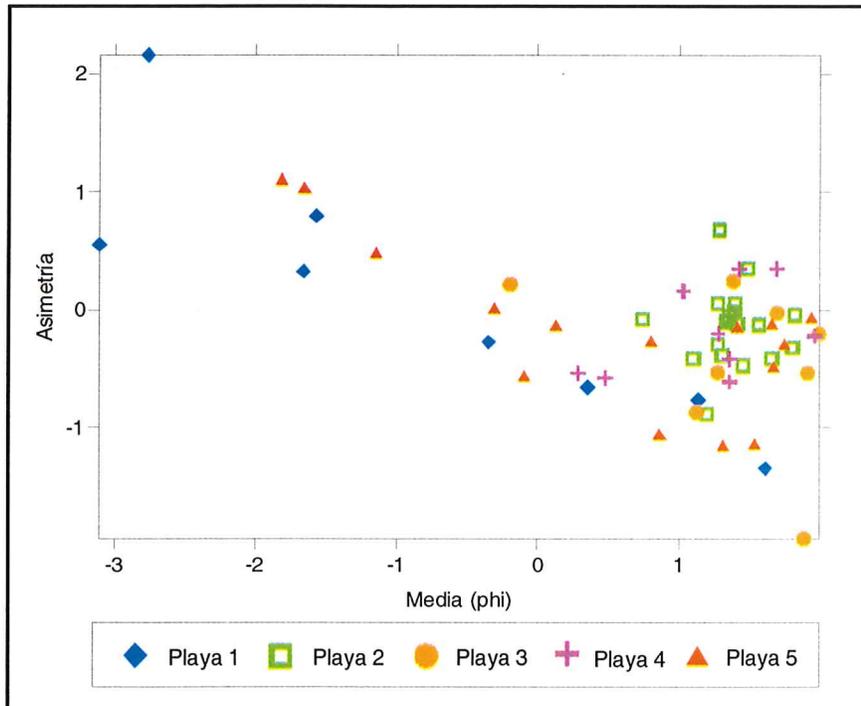


Figura 15. Gráfica binaria de media vs. Asimetría.

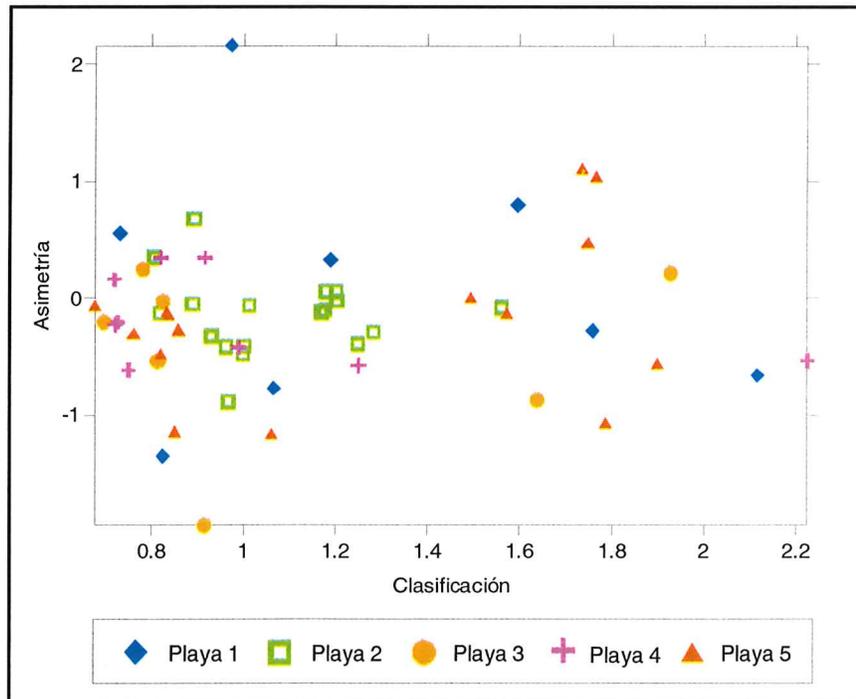


Figura 16. Gráfica binaria de Clasificación vs. Asimetría.

III. 3 Corrientes Litorales por Sedimentos

Sunamura y Horikawa (1971), elaboraron algunos criterios para inferir la dirección del transporte litoral. Dichos criterios en una forma general señalan que la dirección del transporte puede obtenerse utilizando las variaciones en el tamaño (Media) y dispersión del sedimento (Clasificación), siendo estos los siguiente:

El transporte de sedimentos se efectúa en el sentido en que:

1. El tamaño del sedimento y la dispersión disminuyan
2. El tamaño de sedimento aumente y el valor de la dispersión disminuya
3. El tamaño de sedimento disminuya y los valores de la dispersión sean constantes.
4. Los valores de la dispersión disminuyan y el tamaño del sedimento sea constante.

En base a los criterios anteriores se realizaron gráficas por playa, para encontrar las corrientes litorales en estas (Figuras 17-21).

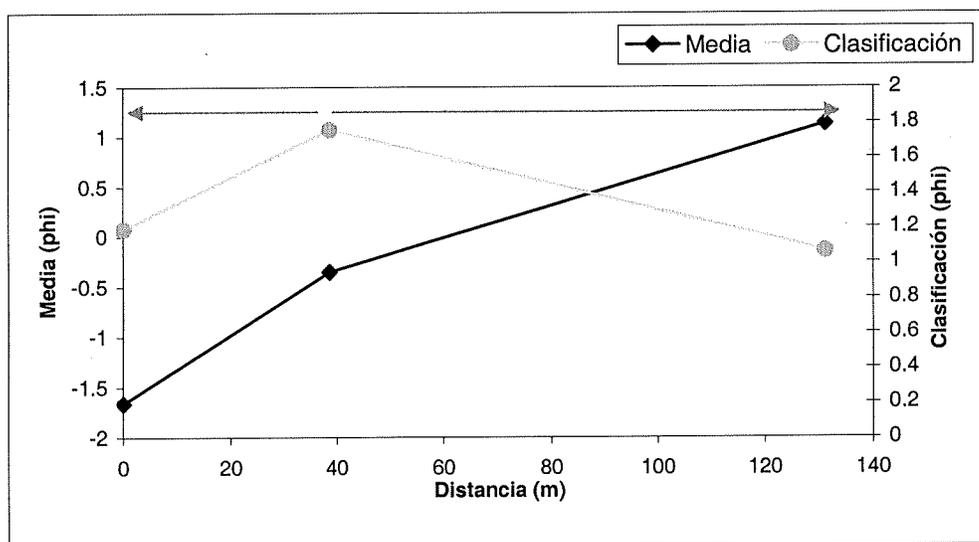


Figura 17. Variación a lo largo de la playa 1 de media y clasificación para inferir la dirección del Transporte Litoral (flechas).

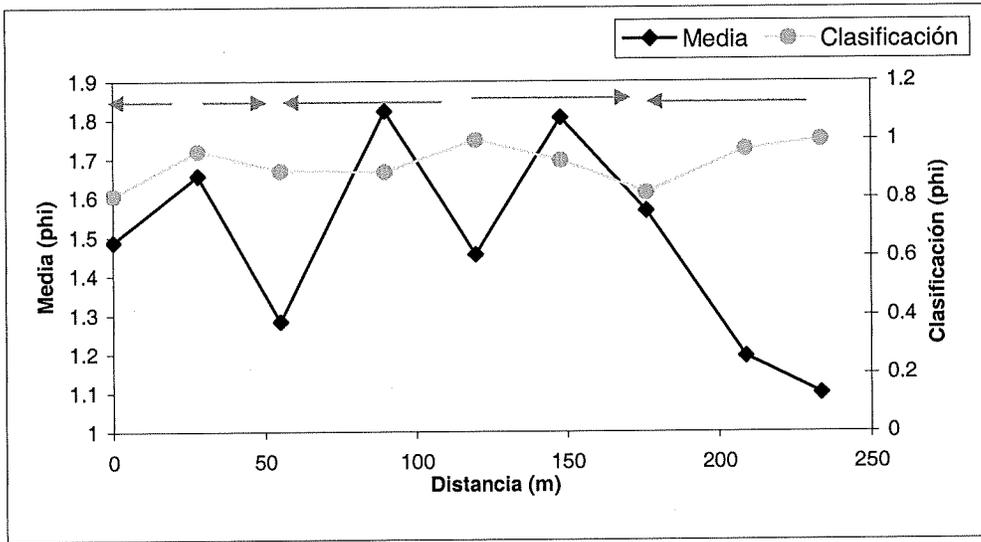


Figura 18. Variación a lo largo de la playa 2 de media y clasificación para inferir la dirección del Transporte Litoral (flechas).

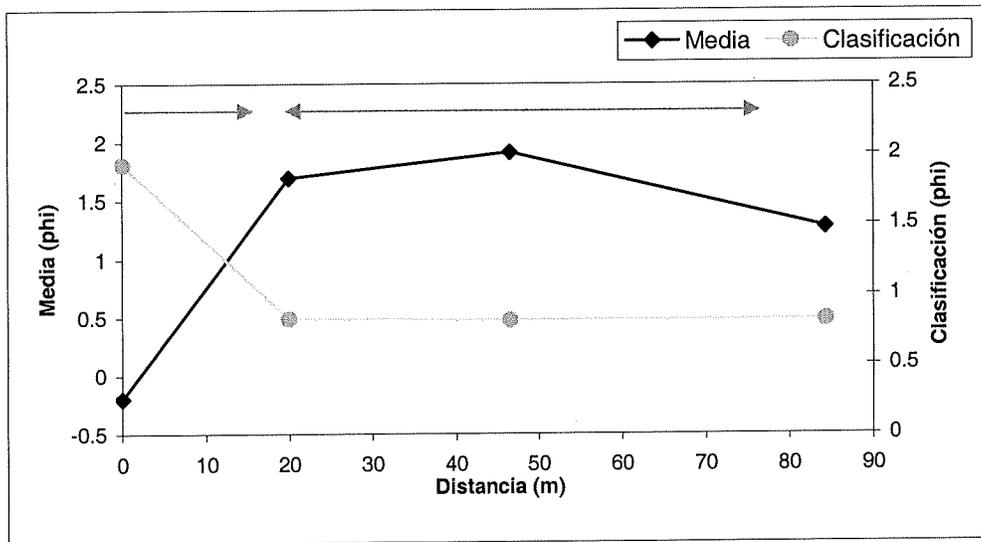


Figura 19. Variación a lo largo de la playa 3 de media y clasificación para inferir la dirección del Transporte Litoral (flechas).

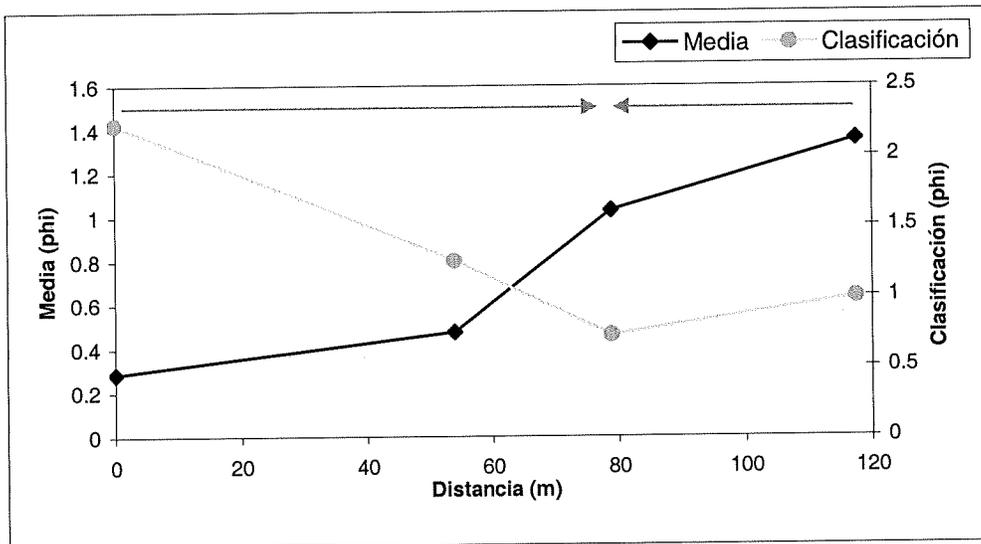


Figura 20. Variación a lo largo de la playa 4 de media y clasificación para inferir la dirección del Transporte Litoral (flechas).

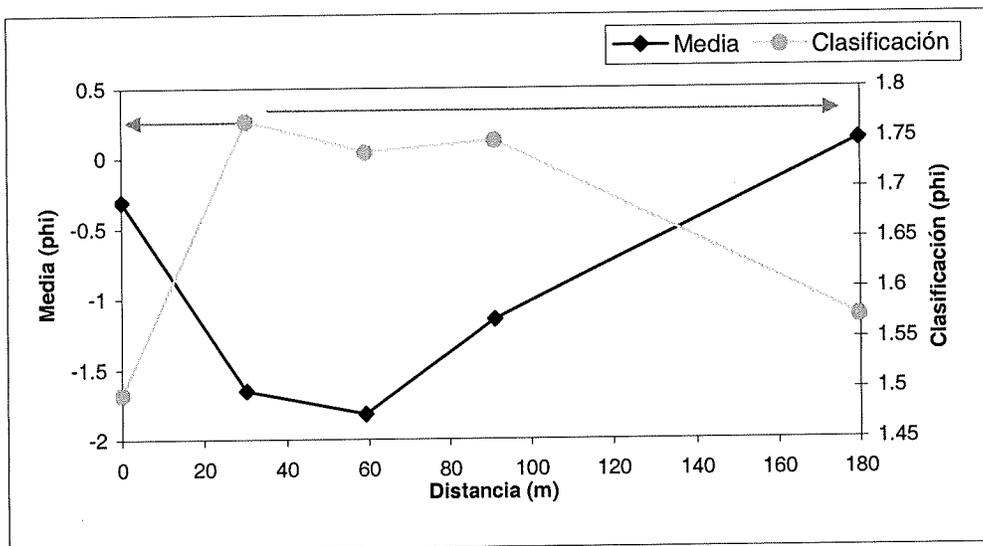


Figura 21. Variación a lo largo de la playa 5 de media y clasificación para inferir la dirección del Transporte Litoral (flechas).

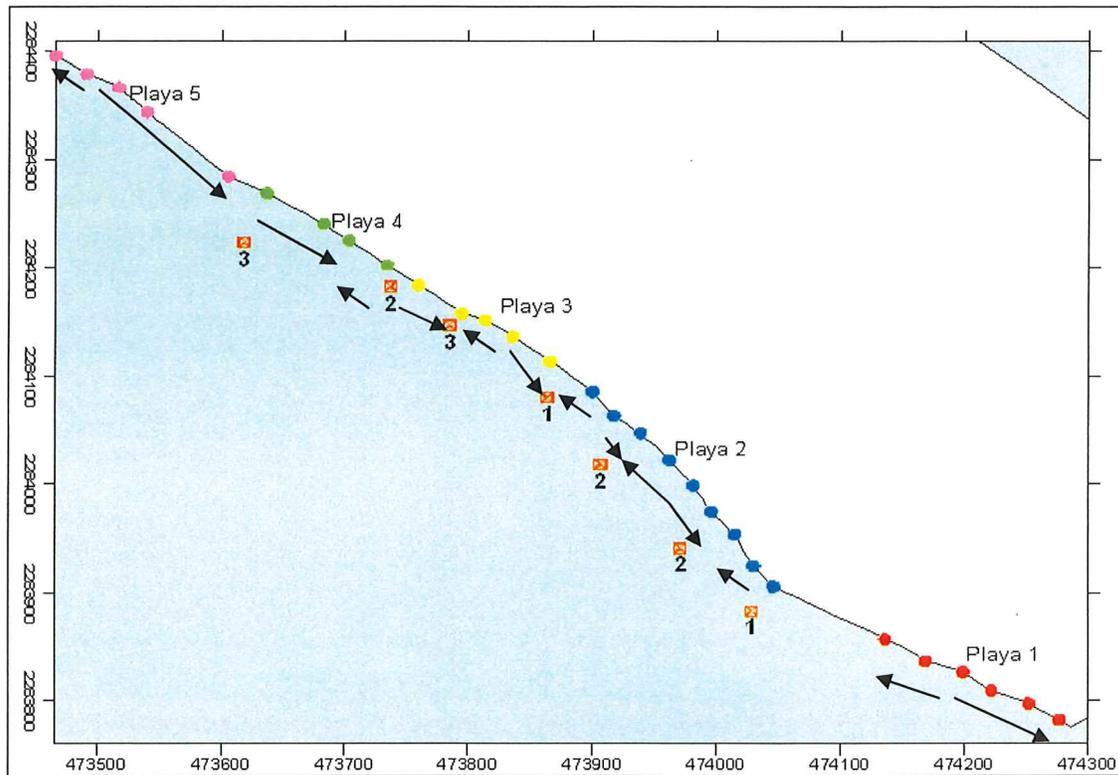


Figura 22. Corrientes Litorales a lo largo de la Playa el Salado, obtenidas de los parámetros estadísticos sedimentarios. Los números indican obras de protección: Espigón (1), Enrocamiento (2), Bolsacreto (3).

Se presentaron diferentes direcciones para las corrientes litorales dentro de cada playa en base a lo dicho por Sunamura y Horikawa (1971).

Para la Playa 1 se encontraron 2 corrientes, la primera que va del perfil 4 al 1 y la segunda que va del perfil 4 al 6 (Figura 17).

En la playa 2 se encontraron 5, la primera va del perfil 1 al 3, la segunda del perfil 5 al 3, la tercera del perfil 7 al 8, la cuarta del perfil 8 al 7 y la quinta del perfil 8 al 9; en esta playa se encuentran dos estructuras (enrocamientos) en la parte central una entre los perfiles 2 y 3, y la segunda entre el 6 y 7 (Figura 18).

En la figura 19 observamos las corrientes litorales que se encuentra en la playa tres, una que va del perfil 1 al 2 y la segunda que va del perfil 5 al 2, en esta playa encontramos un bolsacreto entre los perfiles 2 y 3.

Para la playa 4 observamos también dos corrientes (Figura 20), el primero que va del perfil 1 al 2 y la segunda que va del perfil 4 al 2, aquí también existe un bolsacreto sobre el perfil 3.

En la playa 5 se encontraron 4 corrientes litorales, la primera que va del perfil 2 al 1, la segunda del perfil 2 al 3, la tercera que va del perfil 4 al 3, y la cuarta que va del perfil 4 al 5 (Figura 21).

III. 4 Refracción

Se realizaron 7 simulaciones, 5 en condiciones típicas y dos en condiciones extremas, como se muestra en las siguientes figuras.

Las distintas condiciones de frontera que se utilizaron, para predecir los campos de oleaje de la bahía, mostraron aspectos similares para las 5 simulaciones del año 2000. El primero es la disminución gradual de la altura significativa conforme se propaga hacia la línea de costa. El segundo, los patrones de la dirección de propagación representan la refracción del oleaje donde olas viajan en el sentido que se aplicó como condición de frontera y al acercarse a la línea de costa se refractan.

Los datos de salida frente al área de estudio, no muestran diferencias significativas entre las simulaciones los cambios varían los menores en décimas y los mayores en una unidad, como

se observa en las tablas de las figuras 22 a 29. Los resultados que se obtuvieron para los puntos frente al área de estudio muestran un aumento de altura de ola de 0.7 a 1.3 m.

Las simulaciones de condiciones de tormenta muestran gran diferencia con las simulaciones anteriores, donde las alturas de ola que arriban a la costa son mayores (1.3 m) con un periodo más corto (4.5 s).

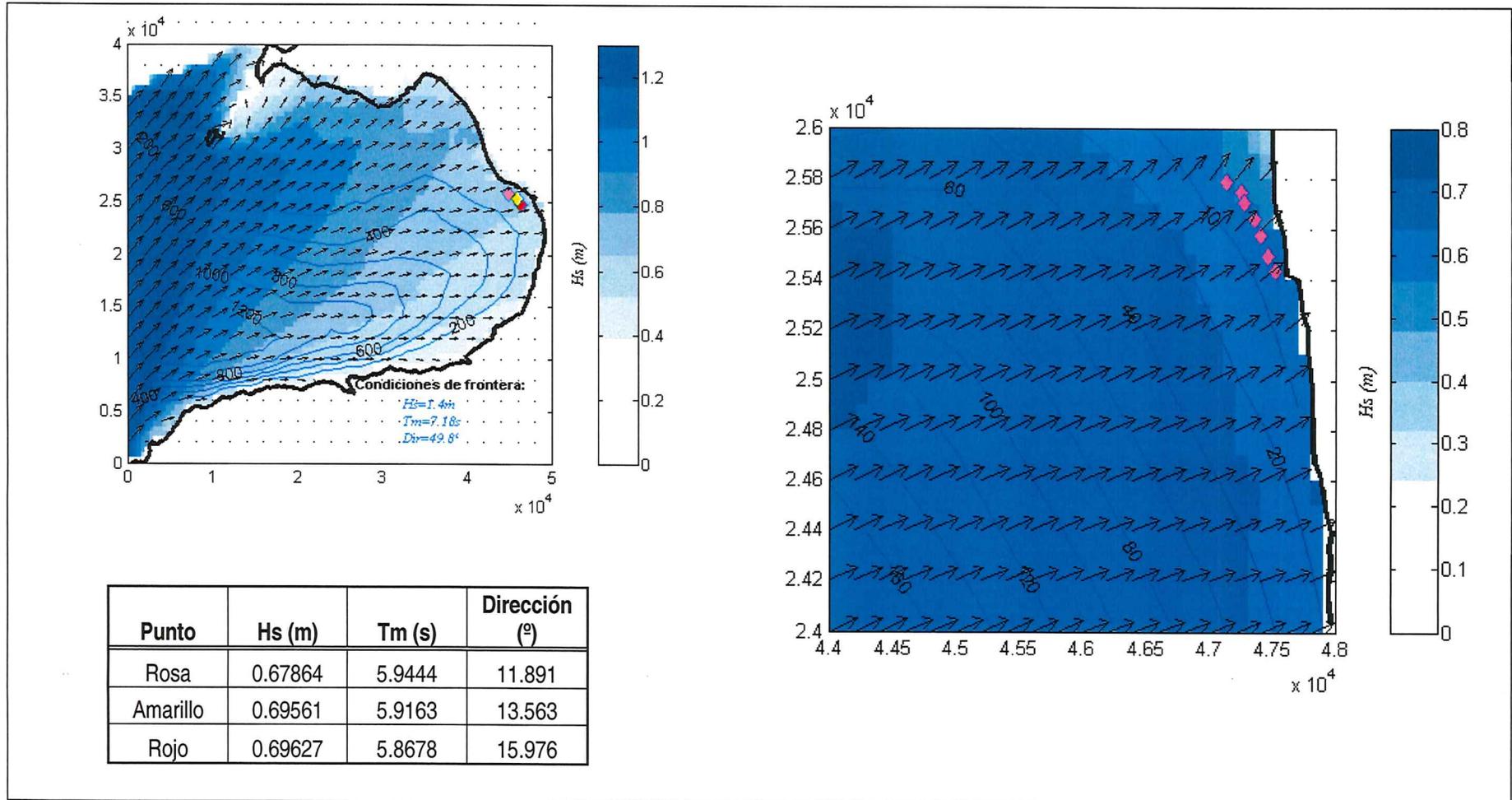


Figura 23. Simulación 1. Izquierda arriba, esquema del campo de oleaje para la Bahía Banderas, malla de 49 x 24 puntos, $\Delta x = \Delta y = 1$ km. Derecha, acercamiento para la Playa El Salado, malla de 40 x 20 puntos, $\Delta x = \Delta y = 100$ m (en los puntos rosas se encuentran las obras de protección). Contornos batimétricos y escala de H_s (tonos azules) en metros. Izquierda abajo, Resultados para cada uno de los puntos H_s , T_p y dirección con la que arribó el oleaje en esta simulación.

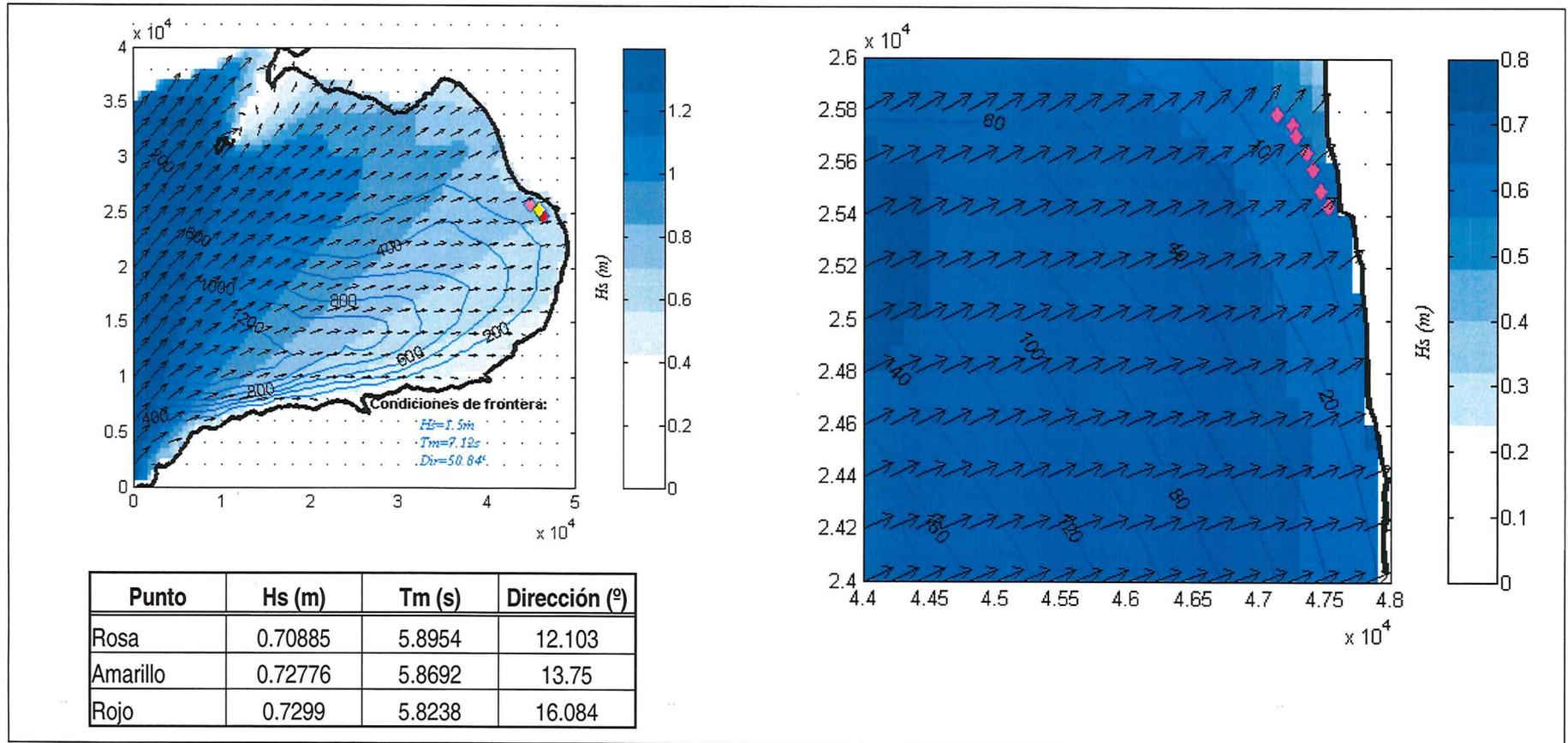


Figura 24. Simulación 2. Izquierda arriba, esquema del campo de oleaje para la Bahía Banderas, malla de 49 x 24 puntos, $\Delta x = \Delta y = 1$ km. Derecha, acercamiento para la Playa El Salado, malla de 40 x 20 puntos, $\Delta x = \Delta y = 100$ m (en los puntos rosas se encuentran las obras de protección). Contornos batimétricos y escala de H_s (tonos azules) en metros. Izquierda abajo, Resultados para cada uno de los puntos H_s , T_p y dirección con la que arribó el oleaje en esta simulación.

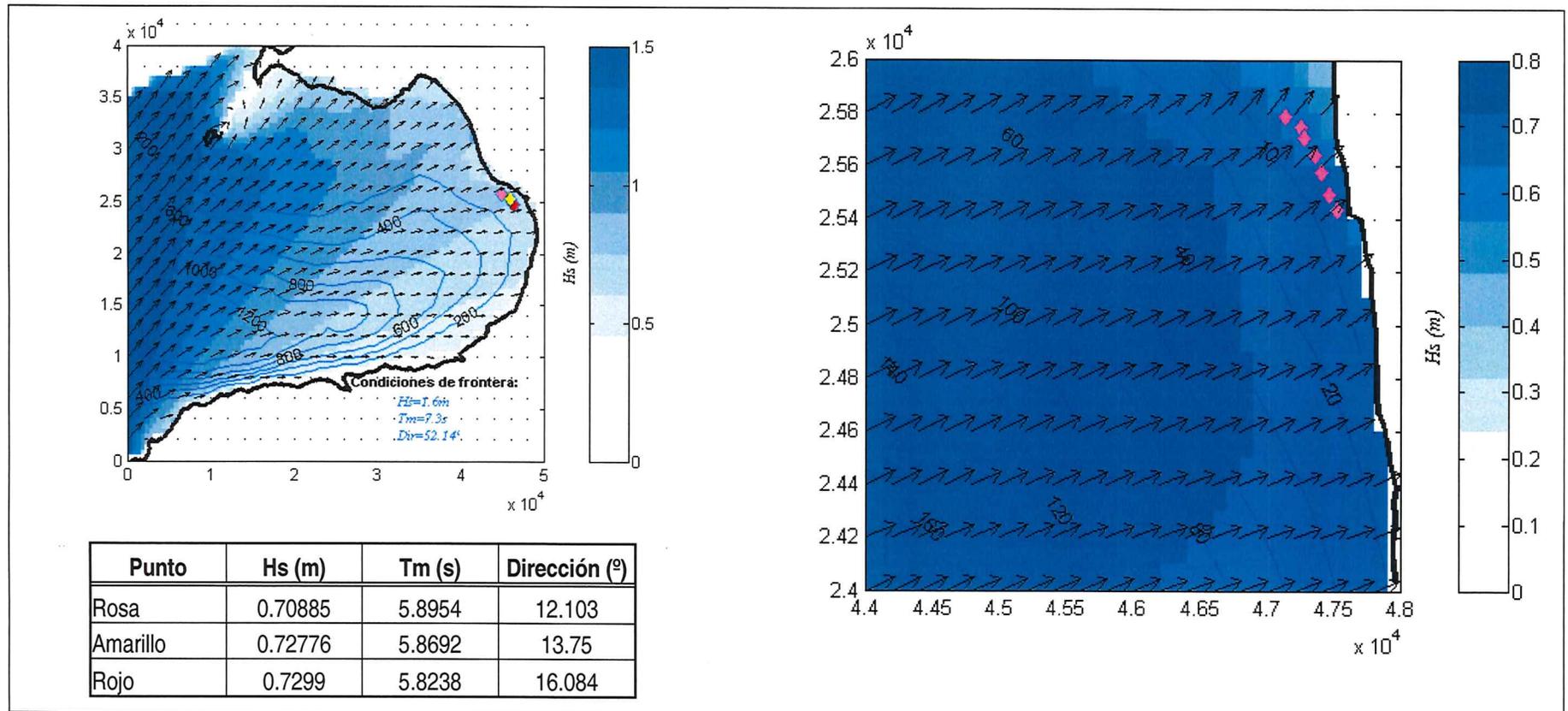


Figura 25. Simulación 3. Izquierda arriba, esquema del campo de oleaje para la Bahía Banderas, malla de 49 x 24 puntos, $\Delta x = \Delta y = 1$ km. Derecha, acercamiento para la Playa El Salado, malla de 40 x 20 puntos, $\Delta x = \Delta y = 100$ m (en los puntos rosas se encuentran las obras de protección). Contornos batimétricos y escala de H_s (tonos azules) en metros. Izquierda abajo, Resultados para cada uno de los puntos H_s , T_p y dirección con la que arribó el oleaje en esta simulación.

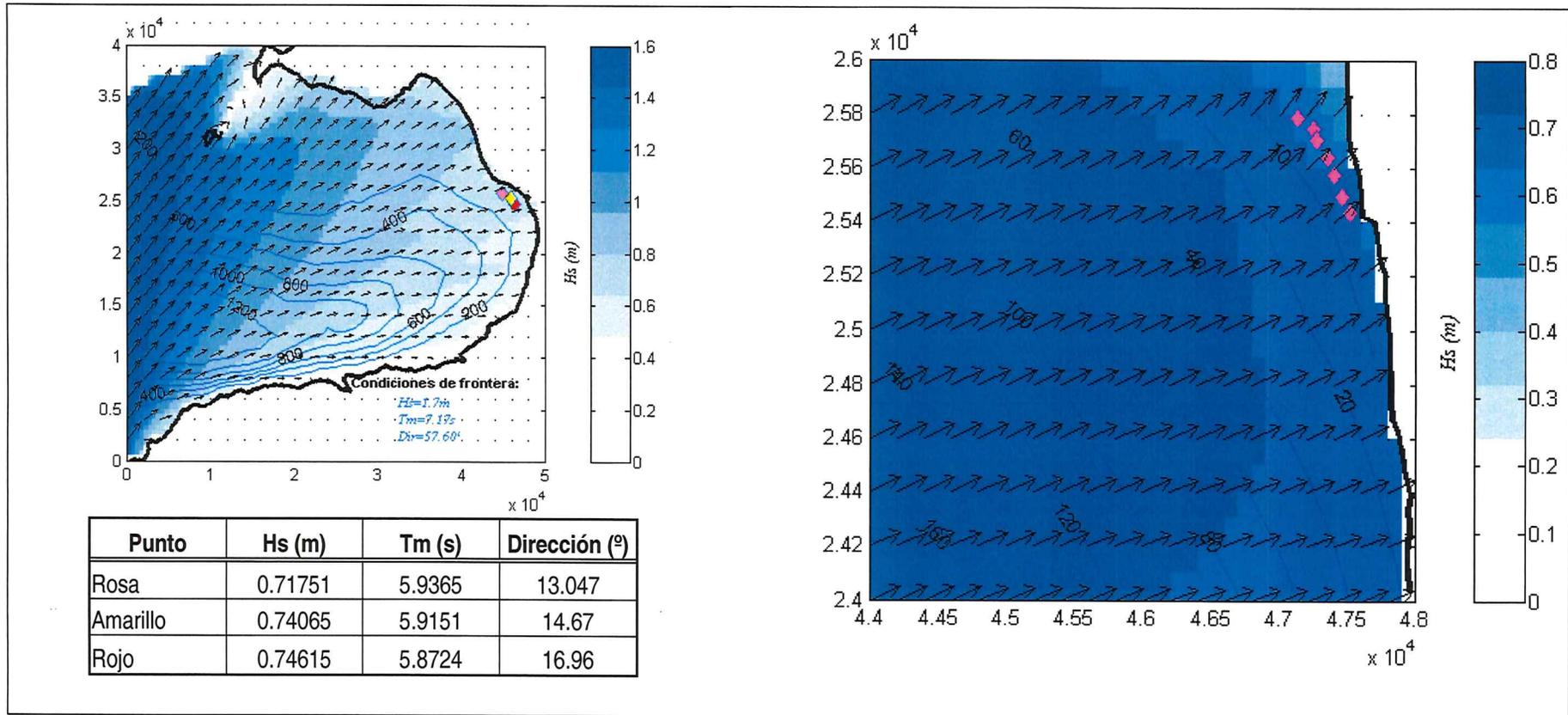


Figura 26. Simulación 4. Izquierda arriba, esquema del campo de oleaje para la Bahía Banderas, malla de 49 x 24 puntos, $\Delta x = \Delta y = 1$ km. Derecha, acercamiento para la Playa El Salado, malla de 40 x 20 puntos, $\Delta x = \Delta y = 100$ m (en los puntos rosas se encuentran las obras de protección). Contornos batimétricos y escala de H_s (tonos azules) en metros. Izquierda abajo, Resultados para cada uno de los puntos H_s , T_p y dirección con la que arribó el oleaje en esta simulación.

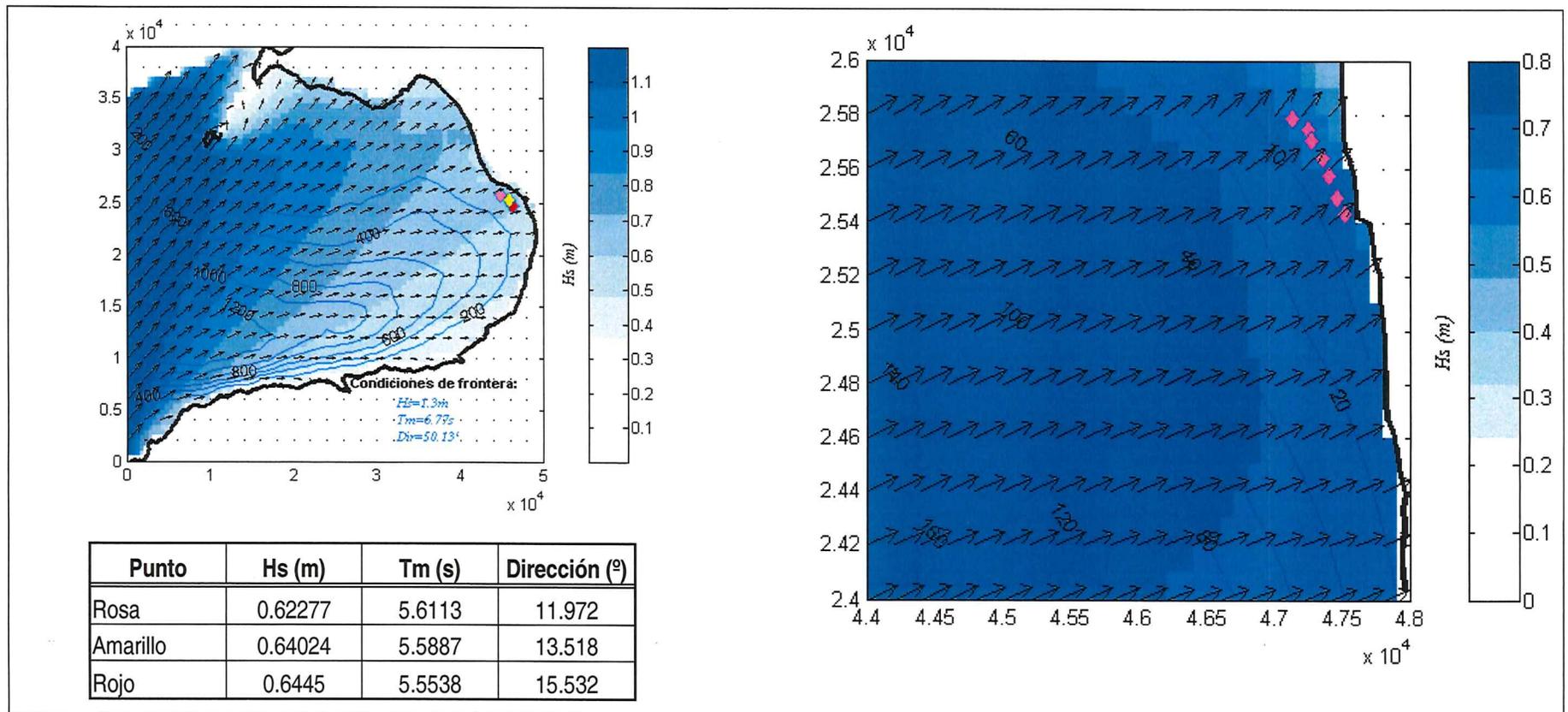


Figura 27. Simulación 5. Izquierda arriba, esquema del campo de oleaje para la Bahía Banderas, malla de 49 x 24 puntos, $\Delta x = \Delta y = 1$ km. Derecha, acercamiento para la Playa El Salado, malla de 40 x 20 puntos, $\Delta x = \Delta y = 100$ m (en los puntos rosas se encuentran las obras de protección). Contornos batimétricos y escala de H_s (tonos azules) en metros. Izquierda abajo, Resultados para cada uno de los puntos H_s , T_p y dirección con la que arribó el oleaje en esta simulación.

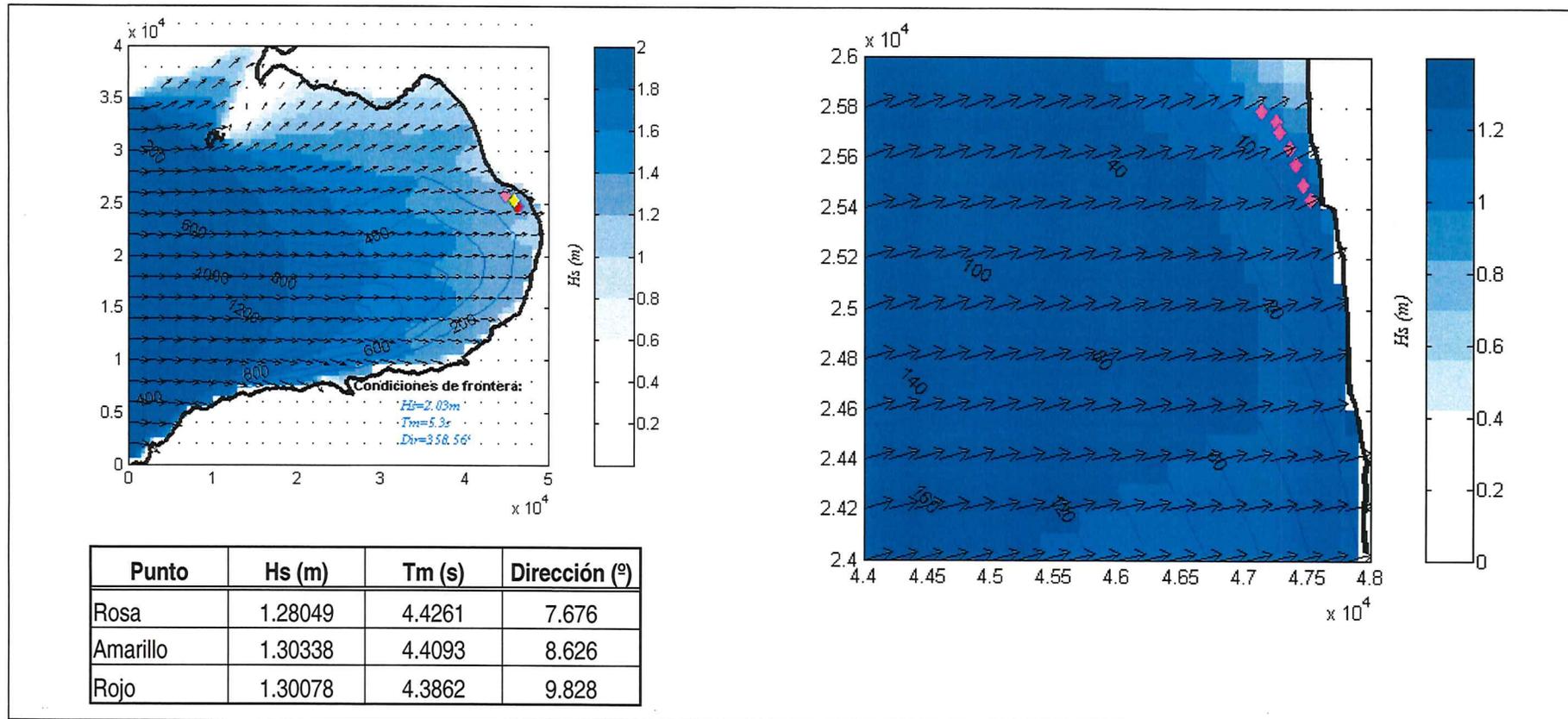


Figura 28. Simulación 1 (Oleaje extremo). Izquierda arriba, esquema del campo de oleaje para la Bahía Banderas, malla de 49 x 24 puntos, $\Delta x = \Delta y = 1$ km. Derecha, acercamiento para la Playa El Salado, malla de 40 x 20 puntos, $\Delta x = \Delta y = 100$ m (en los puntos rosas se encuentran las obras de protección). Contornos batimétricos y escala de H_s (tonos azules) en metros. Izquierda abajo, Resultados para cada uno de los puntos H_s , T_p y dirección con la que arribó el oleaje en esta simulación.

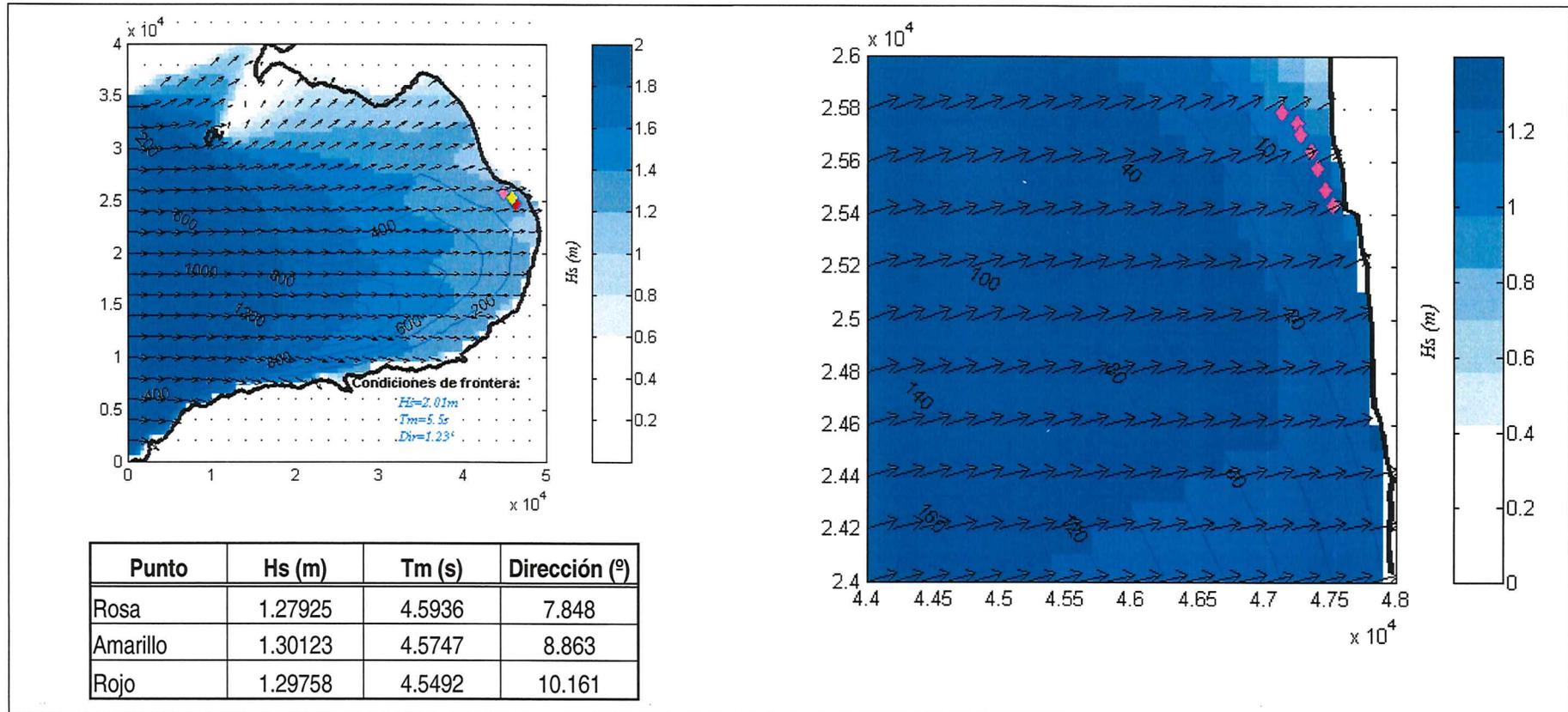


Figura 29. Simulación 2 (Oleaje extremo). Izquierda arriba, esquema del campo de oleaje para la Bahía Banderas, malla de 49 x 24 puntos, $\Delta x = \Delta y = 1$ km. Derecha, acercamiento para la Playa El Salado, malla de 40 x 20 puntos, $\Delta x = \Delta y = 100$ m (en los puntos rosas se encuentran las obras de protección). Contornos batimétricos y escala de H_s (tonos azules) en metros. Izquierda abajo, Resultados para cada uno de los puntos H_s , T_p y dirección con la que arribó el oleaje en esta simulación.

IV. Discusiones

Uno de los aspectos claves en este estudio es la determinación de la dirección de las corrientes litorales. Al hacer uso del SWAN se obtiene una corriente en dirección sur a norte lo que aparentemente es un resultado lógico cuando se observa el ángulo con que arriba el oleaje a la zona costera (Figuras 23 a 29), sin embargo es de esperar que esta dirección coincida con lo obtenido a partir de la granulometría y perfiles pero no es así, como se puede observar en la Figura 22 la dirección predominante de transporte es de norte a sur. Al observar esta discrepancia en los resultados fue necesario realizar un análisis de estos tratando de encontrar la razón de esta discordancia.

IV. 1 SWAN

El oleaje con que se alimento el modelo SWAN es considerado un año típico (2000) resultado del análisis de 10 años de información de oleaje del que fue posible definir los porcentajes mas comunes de alturas, periodos y dirección de arribo (Tabla II). Al analizar esta información se puede observar que el oleaje no es estacional, ya que la variación durante todo el año es mínima y las mayores diferencias se dan solo cuando se presentan condiciones de tormenta, como lo encontrado por Kreeke, *et al.* (2001). Por lo anterior se puede decir que el oleaje con que se alimento el modelo es representativo considerando la fuente de información que es el Wave Model (WAM). Sin embargo es importante considerar que la predicción realizada a partir del WAM se basa en información de vientos que se traduce a datos de oleaje por lo cual no se genera in situ mediante la utilización de instrumentos de medición, debido a esto existe una mayor incertidumbre de los resultados. A pesar del origen de la información de oleaje, al observar los resultados de la simulación hecha por el SWAN y contrastarlos con la batimetría, se observa

que el modelo solamente estaba refractando el oleaje hasta la isobata de los 70 m aproximadamente, sin embargo desde esta isobata que se encuentra a los 2200 m de la costa, definitivamente se debe presentar un proceso de refracción importante que no esta siendo registrado por el SWAN.

La batimetría con que se alimento el modelo se obtuvo de la naval del Puerto de Vallarta y presenta su última actualización en el año de 1976, no se conoce con exactitud las formaciones del suelo oceánico, aunque la bahía cuenta con afloramientos de roca ígnea intrusiva. Esta batimetría tampoco cuenta con las isobatas cercanas a la costa del lado norte donde se encuentran las Islas Marietas, esto es que a partir de las islas y hacia la costa los datos arrojados por el programa no son muy confiables, sin embargo la zona de estudio no se encuentra frente a esta zona. La malla tiene una resolución de 1 Km x 1 Km, sin embargo los datos puntuales de la batimetría no permite un buen funcionamiento para la zona cercana a la costa por la falta de isobatas de menor nivel que se traducen en una batimetría con una pendiente suave cercana a la costa, como se observa en la Figura 35 la batimetría frente al área de estudio no presenta una pendiente suave ya que la isobata de los 70 m se encuentra a menos de 50 m de la costa, esto si debe tener un efecto que no esta siendo registrado por el SWAN. No se realizo un segundo análisis con la batimetría de la Figura 35 por las diferencias que se presentan entre batimetrías.

Las simulaciones no arrojan una diferencia sustancial en la dirección del arribo de ola, entre un año típico y una condición de tormenta, las diferencias se observan en la altura (Figuras 23 a 29).

En las figuras 23 a la 29 se puede observar que las obras de protección no se encuentran sobre la línea de costa, esto se debe a que la batimetría no esta georreferenciada y las obras de protección si, sin embargo el SWAN no se alimentó con las estructuras por lo que este error solo afecta los análisis, por que la refracción no esta tomando en cuenta las estructuras.

IV. 2 GRANULOMETRIA.

Como se menciona anteriormente el análisis de los parámetros texturales (Figuras 10 - 12) del sedimento, en particular la media y la clasificación nos arrojan una dirección de transporte litoral predominante de norte a sur (Figura 22); este transporte predominante se obtiene puesto que las flechas que van de norte a sur son de mayor longitud que las que van en sentido contrario, esto quiere decir que las flechas mas largas indican una mayor distancia de recorrido de la corriente en esa dirección, también por que las playas de mayor longitud (1 y 5) presentan una corriente predominante de norte a sur (Figuras 17, 21) a excepción de la playa 2 que no presenta este comportamiento por los enrocamientos que se presentan en la parte central.

La idea de una corriente litoral en dirección norte-sur, se ve fuertemente apoyada por las evidencias de campo como son las siguientes; en todas las playas a excepción de la playa 2, la porción norte de las mismas se caracterizan por presentar evidencias claras de erosión (Figura 30, 33 y 34) mientras que la porción sur presenta evidencias de depositación (Figuras 31, 32). En el caso de la playa 2 que esta limitada por dos espigones, se presume que este patrón no se presenta debido a la presencia de dos enrocamientos dentro de la misma playa que a su vez deben generar un cambio en el patrón de corrientes.

IV. 3 PERFILES

Los perfiles no mostraron homogeneidad como se muestra de la figura 5 a 9, estas variaciones a lo largo y ancho del perfil pueden ser un reflejo de la presencia de erosión, depositación, obras de protección y/o construcciones.

Los perfiles también son una evidencia de esta dirección predominante ya en las playas 1, 3 y 5 se presentan los perfiles largos en la zona sur y los cortos en la zona norte (Figuras 5, 7 y 9), sin una depositación clara de sedimentos a ambos lados de las obras de protección, sin embargo en la playa 2 se encuentran los perfiles mas largos del lado norte de los enrocamientos (Figura 6). En el caso particular de la playa 3 los perfiles no son indicativos por que la zona norte no se hizo muestreo por ser una playa muy pequeña.

Lo anterior nos indica que en las playas 1 y 5 las obras de protección no están funcionando adecuadamente, en las playas 3 y 4 aunque se esta reteniendo sedimento no son adecuadas, puesto que existen pequeñas partes expuestas. A largo plazo esto puede ocasionar la perdida de la playa y la infraestructura detrás de estas.



Figura 30. Construcción en obra negra dentro de la playa 1 que presenta erosión.

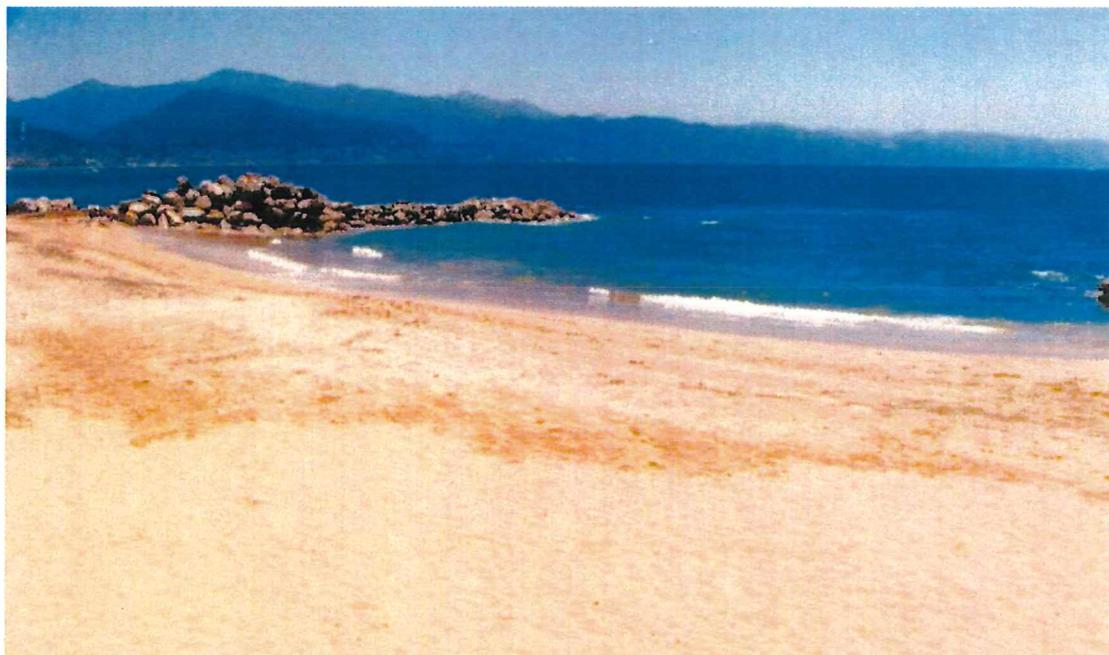


Figura 31. Playa 1, Escollera del puerto.

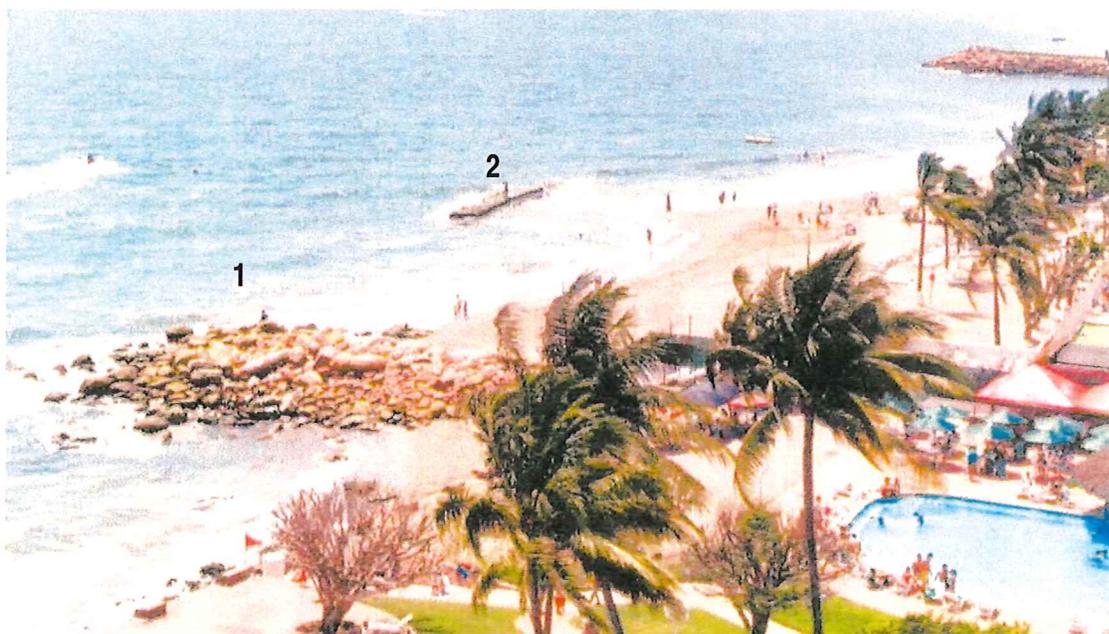


Figura 32. Playa 4. 1 Enrocamiento, 2 Bolsacreto en forma de rompeolas, formando un tómbolo.



Figura 33. Entre playa 4 y 5, Hotel Melia.



Figura 34. Entre playa 4 y 5, se observa arena en la base.

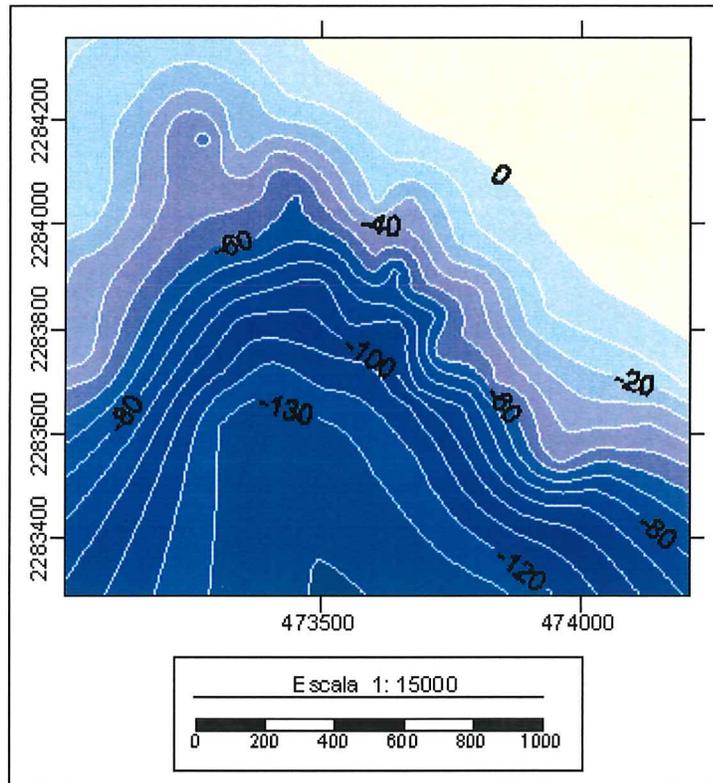


Figura 35. Batimetría de la zona de estudio, realizada en Abril del 2003.

V. Conclusiones

- o De acuerdo a los datos analizados de oleaje y a las corridas del SWAN, en Bahía Banderas no se presentan cambios estacionales en el oleaje los cambios principales solo se presentan en condiciones extremas.
- o Los resultados obtenidos con el modelo SWAN fueron limitados ya que la batimetría que se utilizo no tiene la resolución necesaria para obtener datos cercanos a la costa.
- o En la playa El Salado la corriente litoral predominante es de Norte a Sur, indicada por la granulometría y evidencias de campo.
- o Como se esperaba las estructuras de protección que se presentan dentro de la playa El Salado interfieren con las corrientes litorales, lo que da como resultado que no existe un solo sentido en estas y procesos de depositación en algunas zonas y erosión en otras a causa de las estructuras.

Referencias

- Baca, C. H. (1981) Procedencia de Minerales pesados en la Bahía de Todos Santos, B. C. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas.
- Barrera, G. J. A. (1998) Patrón de dispersión de sedimentos en la Bahía Todos Santos, B. C., México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas.
- Bird, E. G. (1986) Potential effects of sea level rise en the coast of Australia, Africa and Asia; In Effects of changes in stratosphere ozone and global climate. 4(10): 86 E.D.A
- Castellón, A. R. (1988) Transporte de Sedimento y su efecto sobre El Perfil de playa en Bahía Todos Santos B. C. México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas.
- Cruz, V. J. (1989) Transporte Litoral durante Invierno y Verano en la Bahía de Kino, Sonora, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas.
- Galindo, A. K. (1997) Cambios en el patrón de Corrientes Litorales en una playa de bolsillo con la introducción de obras costeras. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas. 34pp.
- Griggs, G. B. (1998) Erosion and shoreline damage along the Central California Coast: A comparison between the 1997-1998 and 1982-1983 Enso Winters. Shore and Beach 66(3): 18-23.

- Guardado, F. R. (1997) Funcionalidad de las obras de protección costera construidas en la Bahía de Todos Santos, B.C., México. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas.
- Inman, D. L. (1971) Nearshore Processes. Mc. Graw'Hill Encyclopedia off Science And Technology, vol. 9. ed. New York. 26-23 p.
- Komar, P. D. (1976) Beach Proceses and Sedimentation. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. 429pp.
- Komar, P. D. (1983) Handbook of Coastal Processes and erosion. C. R. C. Press, Inc. Boca Raton, Florida. 305pp.
- Komar, P. D. (2000) Coastal Erosion - Underlying Factors and Human Impacts. Shore and Beach, Vol 68 (1), pp, 3-16.
- Kreeke, J., Martinez, B. A. y Nelsen, T. A. (2001) Sediment Exchange and Sources of Beach Sediment, Costa Banderas, México. Shore & Beach. 69(4): 19-24.
- Krumbein, W. C. y Sloss, L. L. (1963) Currents generated by waves. Shore and Beach, October, 6 (4): 40-42.
- Lazcano, V. H. (1997) Variación del Perfil de Playa Bajo Condiciones de Tormenta en la Zona de Playas de Tijuana, B. C.. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas.
- López, L. M. (1990) Cuantificación del Volumen de Sedimento Transportado por la Corriente Litoral en las Playas, El Sauzal y Pesquera Zapata ubicadas en la Zona Norte de la Bahía Todos Santos, Baja California, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas.

- Méndez, A. M. (1982) Determinación del Transporte litoral predominante en la Bahía de Todos Santos, Baja California. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de ciencias Marinas.
- Mendoza, P. E. T. (1999) Variación espacio temporal del perfil de playa en Rosarito, Baja California, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas.
- Mendoza, P. E. T. (2001) Modelo de riesgo a la erosión costera por oleaje de tormenta: Caso estudio playas de Rosarito, B. C., México. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, Instituto de Investigaciones Oceanológicas.
- Montoya, T. F. A. (1990) Predicción del retroceso de la línea de costa en función de la elevación del nivel medio del mar, para el periodo de 1983-2100 en una playa de la Bahía de Todos Santos B.C., México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas.
- Motolinia, H. J. M. (1996) Características Granulométricas de los sedimentos modernos de Bahía Concepción, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas.
- Ris, R. C., L. H. Holthuijsen y N. Booij. A third-generation wave model for coastal regions, 2. Verification. J. Geophys. Res. Vol 104 NO. C4. Pages 7667-7681. April 15, 1999.
- Rubio, O. V. (1987) Determinación de las Zonas de Mayor Erosión y Depositación de la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias marinas.
- Ross, D. A. (1988) Introduction to Oceanography. Prentice-Hall Inc. U.S.A.

- Sanchez, B. L. A. (1972) Transporte de sedimentos a lo largo de la parte interna de una barra, en el Complejo de las Lagunas Superior e Inferior de Oaxaca, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Escuela Superior de Ciencias Marinas.
- Sunamura, T. Y. Orikawa, K. (1971) Predominant direction of litoral transport along Kujyukuri Beac, Japan, Coastal Engineering in Japan, 14: 107-117.
- Seymour, R. J. y Higgins, A. L. (1978) Continuous estimat of longshore sand transport, "Symposium on Tech. Environmental, Socioeconomic and Regulatory Aspects of Coastal Zone management, SF, CA." March 14-16, ASCE, Coastal Zone, Vol III, 2308-2318 pp.
- U. S. Army (1984) Shore Protection Manual, Corps of engineers, Costal Engineering Research Center. U. S. Govt. Printing Office, Washington, D. C.
- Wright, L. D. and Short, A. D. (1983) Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia: Komar, P.D. CRC handbook of Coastal Processes and erosion, Boca Raton, Florida, 305pp.