

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS**  
Departamento de Oceanología



**CARACTERÍSTICAS MORFODINÁMICAS Y TEXTURALES**  
**DE LOS DEPÓSITOS EÓLICOS DE CABO FALSO,**  
**BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE**  
**MAESTRO EN CIENCIAS MARINAS**  
**CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

**PRESENTA**  
**OCEAN. VERA CAMACHO VALDÉZ**

**LA PAZ, B.C.S, MÉXICO**

**DICIEMBRE 2003**

## CONTENIDO

	Página
Dedicatoria	i
Agradecimientos	ii
Contenido	iii
Lista de figuras	vi
Lista de tablas	xi
Apéndices	xii
Resumen	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	3
1.2 Justificación	5
1.3 Hipótesis	6
1.4 Objetivo General	6
1.5 Objetivos Particulares	6
II. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y ZONAS ALEDAÑAS	7
2.1 Ubicación geográfica	7
2.2 Marco Geológico de la Subprovincia del Cabo	7
2.3 Plataforma continental	10
2.4 Mareas	10
2.5 Oleaje	13
2.6 Clima	15
2.6.1 Temperatura, precipitación y viento	15
2.7 Régimen de drenaje	18
2.8 Vegetación	18
2.9 Turismo	20
III. METODOLOGÍA	24
3.1 Geomorfología	24
3.1.1 Perfiles Topográficos	24
3.2 Meteorología	26
3.3 Granulometría	30
3.3.1 Introducción	30
3.3.2 Número de muestras colectadas	30
3.3.3 Equipo de muestreo	31
3.3.4 Localización de muestras	31
3.3.5 Análisis de tamizado	31
3.3.5.1 Significado geológico	31
3.3.5.2 Estadística	32
3.4 Mineralogía	32
3.5 Análisis de Fourier-Forma de Grano	33
3.5.1 Introducción	33
3.5.2 Número de muestras colectadas	35
3.5.3 Equipo de muestreo	35

3.5.4 Digitalización de las muestras	35
3.5.5 Procesamiento de los datos	36
3.5.6 Estadística	38
3.5.6.1 Método de Máxima Entropía	38
3.5.6.2 Chi cuadrada	38
3.5.6.3 Análisis de factores	38
3.5.6.4 Análisis de vectores	39
<b>IV. RESULTADOS</b>	<b>41</b>
4.1 Geomorfología	41
4.1.1 Morfología general de las dunas del área de estudio	41
4.1.1.1 Dunas parabólicas	41
4.1.1.2 Cordones de dunas	46
4.1.1.3 Dunas trepadoras	46
4.1.2 Destrucción de la vegetación de los campos de dunas	46
4.1.3 Perfiles topográficos	54
4.1.3.1 Monitoreo del perfil 1; zona protegida,	54
4.1.3.2 Monitoreo del perfil 2; zona de actividad recreativa	54
4.1.3.3 Monitoreo del perfil 3; zona de actividad recreativa	57
4.1.3.4 Acumulación y erosión de arena	62
4.1.4 Morfodinámica de la playa y duna frontal	63
4.2 Meteorología	66
4.3 Granulometría	69
4.3.1 Arroyos	69
4.3.1.1 Introducción	69
4.3.1.2 Distribución del tamaño de sedimento	69
4.3.1.3. La media del sedimento	71
4.3.1.4 La desviación estándar del sedimento	71
4.3.1.5 El sesgo del sedimento	72
4.3.2 Playa	74
4.3.2.1 Introducción	74
4.3.2.2 Distribución del tamaño de sedimento	74
4.3.2.3 La media del sedimento	75
4.3.2.4 La desviación estándar del sedimento	76
4.3.2.5 El sesgo del sedimento	77
4.3.3 Cordón de duna	81
4.3.3.1 Introducción	81
4.3.3.2 Distribución del tamaño de sedimento	81
4.3.3.3 La media del sedimento	81
4.3.3.4 La desviación estándar del sedimento	82
4.3.3.5 El sesgo del sedimento	82
4.3.4 Duna Parabólica	86
4.3.4.1 Distribución del tamaño de sedimento	86
4.3.4.2 La media del sedimento	86
4.3.4.3 La desviación estándar del sedimento	87
4.3.4.4 El sesgo del sedimento	87
4.3.5 Gráfica de dispersión	90

4.4 Mineralogía	92
4.4.1 Introducción	92
4.4.2 Cordón de duna, duna parabólica y playa	92
4.4.2.1 Cuarzo	92
4.4.2.2 Anfíboles	93
4.4.2.3 Feldespatos	93
4.4.2.4 Micas	93
4.4.3 Miembros terminales	94
4.4.4 Diagramas ternarios e histogramas	95
4.5 Análisis de Fourier-Forma de Grano	101
4.5.1 Introducción	101
4.5.2 Fuentes potenciales	102
4.5.3 Análisis de factores	102
4.5.4 Proporciones en Cabo Falso	106
4.5.5 Transporte de sedimento	111
V. DISCUSIÓN	115
5.1 Cambios en la morfología de las dunas	115
5.2 Erosión y depositación en playa y duna	116
5.3 Velocidad y dirección del viento	118
5.4 Granulometría	118
5.5 Composición mineralógica	119
5.6 Fuentes de abastecimiento de material sedimentario	120
VI. CONCLUSIONES	121
LITERATURA CITADA	123
APÉNDICES	128

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Batimetría y localización del área de estudio (interpolado a partir de una carta publicada por Defense Mapping Agency, USA, 1984).	8
2	Litología y sedimentos de una porción de la Subprovincia del Cabo (modificado de INEGI, 1984).	9
3	Rasgos topográficos de la porción sur de la Provincia del Cabo (modificado de INEGI, 1981).	11
4	Rasgos topográficos del área de estudio y Cabo San Lucas (modificado de INEGI, 1985).	12
5	Esquema general de las zonas de depositación del sedimento en la mayoría de las plataformas continentales modernas (modificado de Kennett, 1982).	14
6	Temperatura media anual en el área de estudio y zonas aledañas (INEGI, 2000).	16
7	Precipitación media anual en el área de estudio y zonas aledañas (INEGI, 2000).	17
8	Drenaje de las cuencas hidrológicas del área de estudio y zonas aledañas (modificado de INEGI 1981).	19
9	Tipo de vegetación presente en el área de estudio (A), principalmente en la zona de las dunas antiguas (B).	21
10	Registro de ocupación hotelera en Los Cabos durante 2001	22
11	Reporte de pasajeros que arribaron a Los Cabos vía aérea durante el 2001.	23
12	Distancias, delimitación y esquema de los perfiles topográficos.	25
13	Variación vertical teórica de la velocidad del viento en los primeros cientos de metros de la atmósfera por efecto de la fricción con la tierra.	27
14	Localización de los sitios de colecta de las muestras de playa y duna, y ubicación de los perfiles topográficos.	28

15	Localización de las muestras colectadas en los arroyos.	29
16	Representación en coordenadas cartesianas de los armónicos 2 al 10. En esta Figura todos los armónicos tienen amplitud igual a 1 y fase igual a cero. Es decir todos los armónicos tienen el mismo tamaño (amplitud= 1) y la misma orientación (fase= 0).	33
17	Ubicación de los sitios de colecta de las muestras de sedimento utilizadas en el análisis de Fourier Forma de Grano.	34
18	Campo de dunas antiguas (parte superior), y dunas recientes próximas a la línea de costa.	42
19	Dunas parabólicas presentes en el área de estudio.	43
20	Cordón de duna presente en la zona de actividad recreativa. La persona parada en la parte superior del cordón nos da una idea su dimensión.	44
21	Esquema de las dunas trepadoras presentes en el área de estudio.	45
22	Distribución de la vegetación y posiciones de las dunas inactivas y activas en 1972 (INEGI, 1972).	47
23	Distribución de la vegetación y posiciones de las dunas inactivas y activas en 1993 (INEGI, 1993).	48
24	Cordón de duna paralelo a la línea de costa que muestra la distribución de la vegetación y las huellas del paso de las cuatrimotos en noviembre de 1999.	50
25	El mismo cordón de duna fotografiado en marzo del 2001, que ilustra un cambio notable en la destrucción de la vegetación y la erosión de la duna causada por el paso de las cuatrimotos.	50
26	El mismo cordón de duna fotografiado en junio del 2001, que ilustra un cambio notable en la destrucción de la vegetación y los caminos de la duna más anchos causado por el paso de las cuatrimotos.	51
27	El mismo cordón de duna fotografiado en abril del 2002, que ilustra parches de vegetación y caminos que no se existían en fotografías anteriores, originados por el paso de las cuatrimotos.	51

28	Panorámica de una parte del cordón de duna, con una porción activa a la izquierda, y la otra porción derecha en proceso de destrucción erosiva por el paso de la cuatrimotos (Noviembre 2000).	52
29	Panorámica de la misma porción del cordón de duna que se muestra en la Figura 28 pero en febrero del 2001. Se aprecia un avanzado proceso de degradación de la vegetación.	53
30	Perfiles topográficos de la duna (zona protegida) levantados en verano del 2001 e invierno del 2001-2002, y el cambio de volumen de sedimento expresado en m <sup>3</sup> por día.	55
31	Perfiles topográficos de la playa (zona protegida) levantados en primavera, verano del 2001 e invierno del 2001-2002, y el cambio de volumen de sedimento expresado en m <sup>3</sup> por día.	56
32	Perfiles topográficos de la duna (zona de actividad recreativa) levantados en verano del 2001 e invierno del 2001-2002, y el cambio de volumen de sedimento expresado en m <sup>3</sup> por día.	58
33	Perfiles topográficos de la playa (zona de actividad recreativa) levantados en primavera, verano del 2001 e invierno del 2001-2002, y el cambio de volumen de sedimento expresado en m <sup>3</sup> por día.	59
34	Perfiles topográficos de la duna (zona de actividad recreativa) levantados en verano del 2001 e invierno del 2001-2002, y el cambio de volumen de sedimento expresado en m <sup>3</sup> por día.	60
35	Perfiles topográficos de la playa (zona de actividad recreativa) levantados en primavera, verano del 2001 e invierno del 2001-2002, y el cambio de volumen de sedimento expresado en m <sup>3</sup> por día.	61
36	Volúmenes de sedimento expresados en m <sup>3</sup> /día, medidos a partir de los perfiles de duna y playa.	63
37	Fotografía de la post-playa y la duna frontal de Cabo Falso en junio 2001 (a); escarpe de erosión producido por el Huracán <i>Juliette</i> , en la duna frontal en octubre 2001 (b); fotografía de la duna frontal y post-playa en noviembre 2001 (c); duna frontal y post-playa recuperándose de la acción del huracán en diciembre del 2001 (d).	65

38	Diagrama de rosa de viento e histograma de la velocidad corregida por el efecto de la fricción de la atmósfera con la superficie terrestre para Cabo Falso, basada en los datos del 6 de junio al 27 de septiembre del 2001.	67
39	Geomorfología de la región de Cabo Falso (modificado de INEGI; 1993).	70
40	Parámetros de distribución del tamaño de grano en los arroyos.	73
41	Parámetros de distribución del tamaño de grano en la berma.	79
42	Parámetros de distribución del tamaño de grano en la zona intermareal.	80
43	Parámetros de distribución del tamaño de grano en las crestas.	84
44	Parámetros de distribución del tamaño de grano en los vados.	85
45	Parámetros de distribución del tamaño de grano en la duna parabólica.	89
46	Diagrama de dispersión de todos los ambientes sedimentarios que fueron muestreados; SF, sesgado a los finos; S, simétrica; FSF, fuertemente sesgada a los finos; BS, bien seleccionada; MBS, moderadamente bien seleccionada; MS, moderadamente seleccionada; PS, pobremente seleccionada.	91
47	Diagrama ternario (A) e histograma (B) de las muestras de playa.	96
48	Diagrama ternario (A) e histograma (B) de las muestras del cordón de duna.	98
49	Diagrama ternario (A) e histograma (B) de las muestras de la duna parabólica.	99
50	Diagrama ternario (A) e histograma (B) de las fuentes de abastecimiento o miembros terminales.	100
51	Gráficas de pastel de la composición mineralógica (%) de las muestras más representativas de cada uno de los ambientes sedimentarios.	101
52	En rojo se muestra la ubicación de las muestras miembros terminales y en color gris se indican las cuencas hidrológicas de la región (modificado de mapa topográfico, INEGI 1981).	103



53	Gráfica del análisis de factores, incluyendo cada uno de los ambientes sedimentarios.	105
54	Gráfica de las proporciones del sedimento de la duna antigua (562d), con respecto al total en las otras muestras.	107
55	Gráfica de las proporciones del sedimento del arroyo “El Migriño” (299a), con respecto al total en las otras muestras.	108
56	Gráfica de las proporciones del sedimento de la playa “El Tule” (539p), con respecto al total en las otras muestras.	110
57	Gráfica de las proporciones del sedimento del arroyo “El Prieto” (646a), con respecto al total en las otras muestras.	112
58	Delimitación esquemática de las 3 celdas: (a) celda 1 Cabo Falso, (b) celda 2 Cabo San Lucas y (c) celda 3 San José del Cabo.	113
59	Direcciones inferidas del transporte litoral de sedimento en la región estudiada. También se muestra la ubicación de los miembros terminales.	114

## LISTA DE TABLAS

No. Tabla		Página
1	Ambiente de depósito y coordenadas geográficas de los sitios de muestreo de sedimento para el análisis de Fourier Forma de Grano	39
2	Promedios mensuales de las series de tiempo de cada uno de los parámetros medidos por la estación meteorológica	68
3	Parámetros texturales del sedimento de los arroyos aledaños a Cabo Falso	72
4	Parámetros texturales del sedimento en la playa de Cabo Falso	78
5	Parámetros texturales del sedimento en el cordón de duna de Cabo Falso	83
6	Parámetros texturales del sedimento en la duna parabólica	88
7	Composición mineralógica del sedimento en la playa	92
8	Composición mineralógica del sedimento en el cordón de duna	93
9	Composición mineralógica del sedimento en la duna parabólica	94
10	Composición mineralógica de las muestras de sedimento en áreas potenciales de abastecimiento a los depósitos eólicos.	95
11	Proporciones de las muestras de playa con respecto a cada uno de los miembros terminales	106
12	Proporciones de las muestras de la duna con respecto a cada uno de los miembros terminales	109
13	Estimación del área en km <sup>2</sup> de cada una de las cuencas de drenaje delimitadas en la región	111

## APÉNDICES

		Página
1	Histogramas de distribución de frecuencia del tamaño de grano para los sedimentos de playa del mes de marzo, junio, noviembre de 2001 y febrero 2002.	129
2	Histogramas de distribución de frecuencia del tamaño de grano para los sedimentos del cordón de duna del mes de mayo, octubre de 2001 y febrero 2002.	133
3	Histogramas de distribución de frecuencia del tamaño de grano para los sedimentos de la parte intermedia de la duna parabólica (perfiles 1 y 3) para octubre, noviembre y febrero.	136
4	Histogramas de distribución de frecuencia del tamaño de grano para los sedimentos de arroyo muestreados en septiembre de 2001 y abril de 2002.	137

## RESUMEN

Los depósitos eólicos de Cabo Falso forma parte de la subprovincia Geológica del Cabo, localizada en la porción sur de la Península de Baja California. Estos depósitos tienen alturas promedio de 30 m, y son propicios para que se lleven a cabo actividades recreativas, principalmente con cuatrimotos. Identificar las principales características morfodinámicas y texturales de estos depósitos, influidas a su vez por las actividades recreativas y por el paso de un huracán fue el tema principal de este estudio. La morfología y composición textural de los depósitos eólicos fueron estudiadas por medio de perfiles topográficos, mapas, fotografías aéreas y análisis granulométricos. Para la identificación de las fuentes de proveniencia de los sedimentos eólicos, así como para inferir la dirección de transporte a lo largo de la zona costera se utilizó el análisis de Fourier Forma de Grano. Las mediciones realizadas a lo largo de un año, indican que el periodo de erosión de sedimento tanto en la playa como en la duna fue durante junio-diciembre. En este período a finales de septiembre se presentó el huracán *Juliette*, atribuyendo a este evento meteorológico, en parte, la erosión resultante. La mayor acumulación de sedimento ocurrió durante el período de diciembre-febrero, indicándonos el inicio de un proceso de recuperación natural del sistema, posterior al huracán. Las fotografías mostraron que las dunas perdieron una gran cobertura vegetal, debido al paso de las cuatrimotos, las cuales al formar caminos perpendiculares a las crestas de las dunas, destruyeron la vegetación y como consecuencia de esto, la morfología de las dunas se modificó. Los tamaños dominantes de los sedimentos de playa son arenas gruesas y de los depósitos eólicos de arenas medias a finas, y están constituidas principalmente por cuarzo (75 %), seguido por los feldespatos (9 %), los anfíboles (15 %) y por las micas (1 %). El análisis de Fourier-Forma de Grano muestra que las dunas recientes están siendo abastecidas principalmente por arena de la duna antigua adyacente (24-52 %) y de material sedimentario proveniente por la descarga del arroyo Migriño (10-38 %), y en menor proporción por el arroyo El Prieto (< 20 %), localizados ambos al norte del área de estudio.

**Palabras clave:** actividad recreativa, morfología, composición textural, fuentes de abastecimiento.

## ABSTRACT

The eolic deposits of Cabo Falso form part of the geologic subprovince of Cabo, which is located in the southern region of the Baja California Península. These deposits have an average height of 30 meters and are used for recreational purposes, mainly All Terrain Vehicles (ATV's). The main theme of this study is the identification of the principal morphodynamic and textural characteristics of these deposits, which were influenced by recreational activities and by the passing of a hurricane. The morphology and textural composition of the eolic deposits were studied thru the use of topographic profiles, maps, aerial photographs and granulometric analyses. The Fourier Grain Shape technique was used to identify the eolic sediment sources and the direction of transport along the coastal zone. The measurements done throughout one year indicated that the sediment erosion period of both the beach and dune lasted from June to December. During this period, in late September, the passing of hurricane *Juliette* affected the study area, and caused part of the resulting erosion. The period of most sediment accumulation occurred from December to February, and indicated the beginning of the period of natural restoration of the system the after the hurricane. The photographs showed that the dunes have lost mayor areas of vegetation due to the use of ATV's, which have formed tracks perpendicular to the dune crests, destroying the vegetation and consequently modifying the dune morphology. The dominant size of the beach sediments is coarse sand, and of the eolic deposits is medium to fine sands, and they are constituted mainly by quartz (75 %), followed by feldspars (9 %), amphiboles (15 %) and micas (1 %). The Fourier Grain Shape analysis showed that the recent dunes are being supplied mostly with sand from the adjacent ancient dunes (24-52 %), and with sediments coming from the Migriño arroyo (10-38 % ?) and to a lesser degree with sediments from the El Prieto arroyo (< 20 %), both of which are located north of the study area.

**Key words:** recreational activities, morphology, textural composition, sediment sources.

## I. INTRODUCCIÓN

En el ámbito mundial la zona costera en las últimas décadas se ha desarrollado en gran medida a su potencial económico, ya que en ella o a pocos kilómetros habita el 60 % de la población mundial (Bloom, 1991), y se llevan a cabo importantes actividades industriales, turísticas, de transporte, y desarrollos urbanos entre otros. Es precisamente la elevada presión que ejerce el hombre sobre la zona costera y la falta de planeación, una de las causas principales de los desequilibrios y cambios que actualmente se observan en la dinámica de los procesos geomorfológicos litorales (Seco, 1994).

Las playas y dunas costeras están entre los ambientes costeros que presentan una morfodinámica compleja. La energía de oleaje, corrientes y viento es típicamente grande y aplicada sobre áreas relativamente pequeñas. (Sherman y Bauer, 1993). Tradicionalmente, el oleaje y las corrientes litorales son los agentes que dominan la dinámica de la playa, y el viento en las dunas, y comúnmente han sido estudiados como sistemas separados. Sin embargo, durante la última década, se han incrementado los estudios relacionados a la interacción playa-duna (McLachlan, 1990; Psuty, 1988), reconociendo que estos dos ambientes están estrechamente relacionados. El intercambio de sedimento entre el ambiente de playa y duna está gobernado por una serie de mecanismos hidrodinámicos y aerodinámicos complejos (oleaje incidente, corrientes litorales, corrientes de marea, campos de viento), los cuales tienen repercusiones importantes para la evolución integral del sistema playa-duna (Chapman, 1989).

En general, la función principal de las corrientes litorales es la de actuar como agentes de transporte, distribuyendo y regulando gran parte del movimiento de los sedimentos aportados por los arroyos al océano (Seco, 1994). Por lo tanto su influencia erosiva en la zona costera es mínima. Por otro lado, el oleaje es el agente de mayor importancia en la playa, particularmente en la determinación del aporte neto de sedimento a lo largo de la costa, modificando con esto la morfología de la línea de costa, la cual afecta los procesos eólicos en la post-playa (playa superior), que a su vez afectan la morfología de la duna. En costas con alta energía de oleaje se pueden distinguir dos etapas: una de acumulación de sedimentos que coincide con la época del año de menor energía de oleaje (verano), y otra etapa en donde la playa se encuentra erosionada, que coincide con la época de mayor energía de oleaje (invierno).

El viento es otro de los agentes importantes en la zona costera, ya que transporta la arena de la playa hacia la parte superior de la misma, dando lugar a la formación de dunas. Uno de los estudios clásicos de transporte de sedimento (Bagnold, 1941), se llevó a cabo con arenas desérticas, y en él se demostró que la arena se mueve principalmente por saltación. Este movimiento indica que una cantidad de granos se mueven por el viento en la superficie arenosa con un ángulo, y con el impacto sobre otros, provocan que estos se muevan. En dicho estudio también se menciona que existe un mínimo en la velocidad del viento, para que éste pueda mover la arena (4-5 m/s), y que por arriba de esta velocidad el rango del movimiento de la arena será proporcional al cuadrado de la velocidad del viento.

Las dunas son componentes fundamentales en los sistemas geomorfológicos de la mayoría de los ambientes costeros arenosos. Funcionan como amortiguadores contra la erosión costera, proporcionan un hábitat ecológico frágil, y poseen una gran belleza y utilidad recreacional. Necesariamente, aunque no suficientes, las condiciones para el desarrollo de las dunas (Sherman y Hotta, 1990), incluyen: 1) una superficie extensa en donde la arena puede ser depositada y las dunas logren su evolución; 2) una fuente de material sedimentario disponible, ya sea de fuentes cercanas o bien de depósitos subyacentes re-trabajados; y 3) un campo de viento adecuado que transporte sedimento en una dirección persistente por prolongados periodos de tiempo. La estabilización de la arena en movimiento por medio de vegetación es la siguiente fase en el proceso (Clark, 1977), pues ésta tiende a disminuir el movimiento de arena.

Para conocer los procesos que intervienen en el morfodinámica de la costa se eligió una zona litoral que nos permitiera monitorear a lo largo de un año las condiciones físicas naturales y que al mismo tiempo estuviese siendo afectada por actividad antropogénica, encontrando que la playa y los depósitos eólicos de Cabo Falso presentan ambas condiciones.

## 1.1 Antecedentes

En la zona de Cabo San Lucas existen algunos trabajos relacionados al estudio de la zona costera, entre ellos están los que ha realizado el grupo de Geología del CICIMAR (Nava *et al.*, 1994) y los estudios de morfología y transporte de sedimentos en el cañón submarino de San Lucas realizados por Shepard en 1966.

En Cabo Falso no existen actualmente trabajos relacionados a la morfodinámica de la playa y los depósitos eólicos presentes en esta zona. Sin embargo, el sistema de dunas costeras ha sido estudiado ampliamente, y existen trabajos recientes relacionados al tema (Pye, 1983; Gimingham *et al.*, 1989; Bakker *et al.*, 1990; Nordstrom y Gares, 1990; Carter *et al.*, 1992). Otro de los trabajos relacionados con este tema y con la metodología que se utilizó en esta investigación es el realizado por Saunders y Davidson (1990) en Long Point (Ontario, Canada), en el cual, para definir la dinámica sedimentaria del sistema playa-duna relacionada a un evento de tormenta, realizaron perfiles perpendiculares a la línea de costa abarcando desde la berma de la playa hasta la parte más elevada de las dunas. Junto con esto, diseñaron cuadrantes con el objetivo de definir la cobertura vegetal durante todo un año, tomando en cuenta las épocas de tormentas. Sus resultados indican que el patrón en la morfología de las dunas depende principalmente de la fuente de sedimento proveniente de la playa, de la morfología de la duna y de las características que presente la vegetación durante el evento climático. Otro trabajo realizado en la misma zona de Long Point, tuvo como objetivo principal definir los controles estacionales que influyen en los procesos eólicos de la duna y playa (Law y Davidson, 1990). En este trabajo se tomaron en cuenta las variaciones anuales en la velocidad del viento, la forma y ancho de la playa, la densidad y tamaño de la vegetación, y el aporte de sedimento. Al igual que el trabajo de Saunders y Davidson (1990) realizaron perfiles perpendiculares a la costa para definir los cambios morfológicos a lo largo de un año. Los resultados de esta investigación muestran que el aporte máximo de sedimento de la playa hacia la duna ocurrió durante el otoño, coincidiendo con el período en el cual la playa es ancha y los vientos son fuertes, y el aporte de sedimento durante el invierno fue reducido por la cobertura de nieve que se presenta en esa época, por la playa angosta y los vientos débiles.



En Finlandia se han realizado una serie de trabajos relacionados con la morfodinámica de las dunas (Aartolahti, 1973; Alestalo, 1979; Tikkanen y Heikkinen, 1995). Uno de ellos se llevó a cabo en los depósitos eólicos de la costa occidental de Finlandia (Heikkinen y Tikkanen, 1987). En éste estudio se consideraron las condiciones físicas como son la geomorfología, el clima, las características del oleaje, el transporte litoral, las mareas, y la estructura y composición del material de las dunas. Adicionalmente se realizaron perfiles topográficos perpendiculares a la línea de costa y se llevó a cabo una fechación de los depósitos. Una de las conclusiones de esta investigación fue que la abundancia del material que es transportado por el viento proviene principalmente de las corrientes litorales que junto con el oleaje depositan el material en las playas.

## 1.2 Justificación

Las dunas costeras han sido alteradas extensamente por las actividades humanas, causando cambios ecológicos y geomorfológicos profundos (Mayer, 1995). Las actividades tradicionales que se llevan a cabo en las dunas costeras incluyen la agricultura, extracción de arena y las recreativas. Actualmente, existen otros factores que han ocasionado severos impactos en las dunas costeras, como lo son: desarrollos turísticos, urbanización y construcción de marinas. Lamentablemente no existe un buen control sobre el uso de los campos de dunas, por lo que el futuro de estos ambientes en buen estado de conservación es un tanto incierto. Las dunas son de importancia en la zona costera, principalmente porque funcionan como barreras naturales contra la energía de oleaje, protegiendo así las construcciones cercanas a la zona litoral, además las dunas juegan un papel sedimentológico importante, ya que son una fuente de material sedimentario hacia la playa durante épocas de tormentas o huracanes, cuando la playa se encuentra erosionada (Bauer y Sherman, 1999). Desgraciadamente en muchas partes del mundo (incluyendo a nuestro país), los campos de dunas no suelen ser considerados como parte integral del sistema costero y constantemente se ven afectados por actividades antropogénicas. Este error recurrente trae como consecuencia pérdidas importantes de tipo ambiental y económico. Por lo tanto, es importante conocer las características morfodinámicas de estos sistemas para lograr un manejo adecuado de las zonas costeras, que incluya a los campos de dunas.

### 1.3 Hipótesis

La hipótesis que se planteó para este estudio es que las características morfodinámicas y texturales de los depósitos eólicos de Cabo Falso están siendo modificadas por la actividad antropogénica relacionada con el uso recreativo y turístico de la zona, la cual, está ocasionando que la morfología de éstos depósitos este siendo modificada.

### 1.4 Objetivo general

Identificar los principales factores que afectan la dinámica y características sedimentológicas, así como la morfología y el paisaje de los depósitos eólicos y de la playa de Cabo Falso.

### 1.5 Objetivos particulares

- a. Caracterizar los depósitos eólicos definiendo su nombre genético y sus dimensiones.
- b. Identificar los cambios estacionales morfológicos de la duna y playa.
- c. Realizar una caracterización textural y mineralógica de los sedimentos.
- d. Identificar las fuentes de aporte de sedimento de los depósitos eólicos y de la playa.

## II. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y ZONAS ALEDAÑAS

### 2.1 Ubicación geográfica

La zona costera de Cabo Falso se encuentra localizada entre 109°58'-109°58.5' longitud oeste y 22°53'- 22°53.5' latitud norte (Figura 1), a aproximadamente 5 km al oeste del puerto de Cabo San Lucas. El área forma parte de la provincia geológica del Cabo, ubicada al extremo sur de la Península de Baja California.

### 2.2 Marco geológico de la Subprovincia del Cabo

La zona costera de Cabo Falso pertenece a la subprovincia geológica del Cabo, la cual tiene una extensión aproximada de 7,613 km<sup>2</sup>. Esta subprovincia del Cabo está constituida por un macizo batolítico de rocas graníticas y granodioríticas de edad cretácica, que se presenta en forma de complejo montañoso intrusionando rocas metamórficas de edad mesozoica (Nava, 1992, Figura 2), así como también se presenta una serie de conglomerados y otros depósitos cuaternarios.

El relieve más sobresaliente en esta región es la Sierra de La Victoria con 2,090 metros de altura, donde predominan rocas graníticas (Figura 3). Estructuralmente la región está limitada por un sistema de alineamientos que corresponden a sistemas de falla: La Paz, San Juan de los Planes, Santiago y San José del Cabo (Puy, 1994).

Los relieves dominantes en el área de Cabo Falso son los cerros “El Vigía” y “El Pedregoso”, los cuales alcanzan alturas máximas de aproximadamente 200 y 220 metros, respectivamente (Figura 4) y están constituidos por rocas graníticas. Al este de Cabo Falso se localiza una serie de cerros con alturas entre los 100 y 200 metros, en donde predominan rocas graníticas y granodioríticas, cubiertas en algunas partes por aluvión.

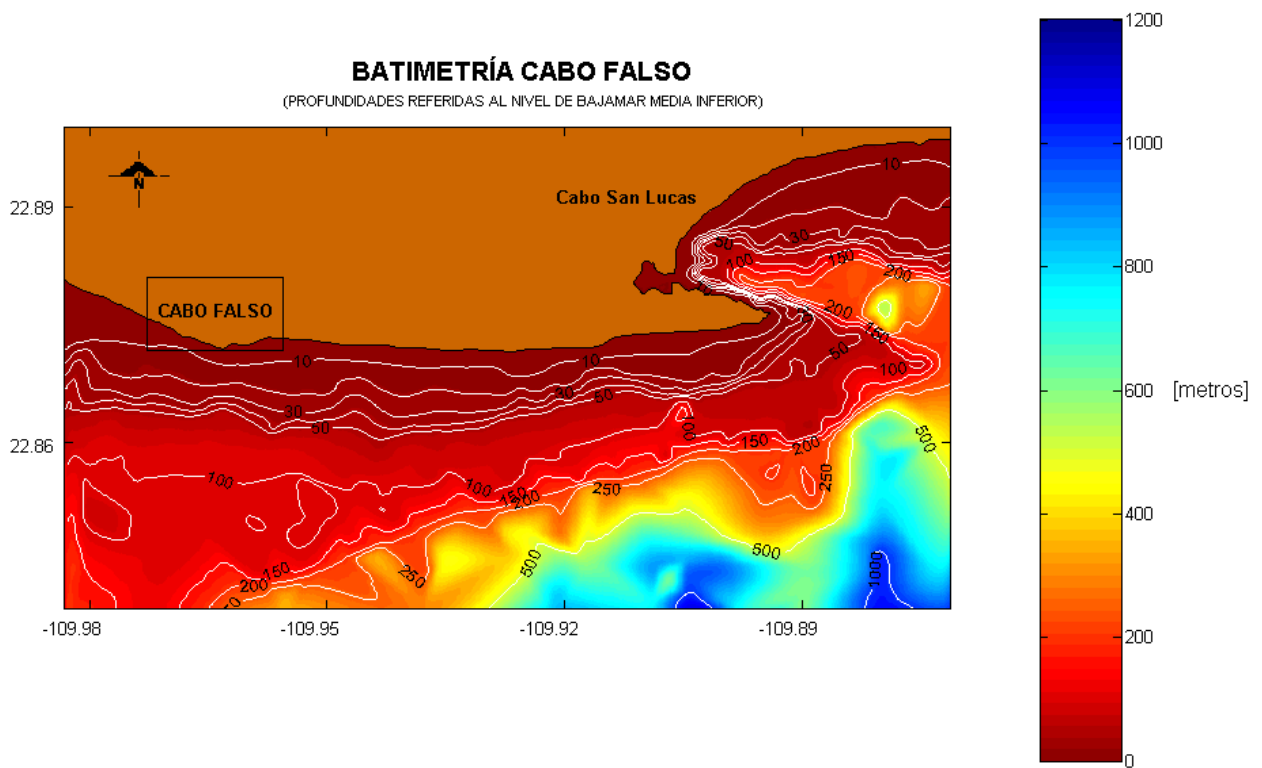
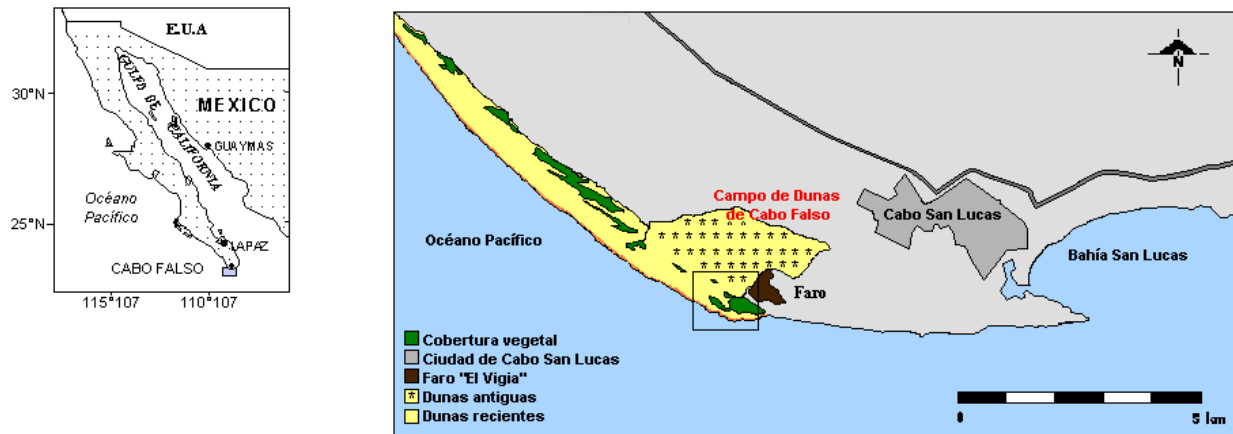
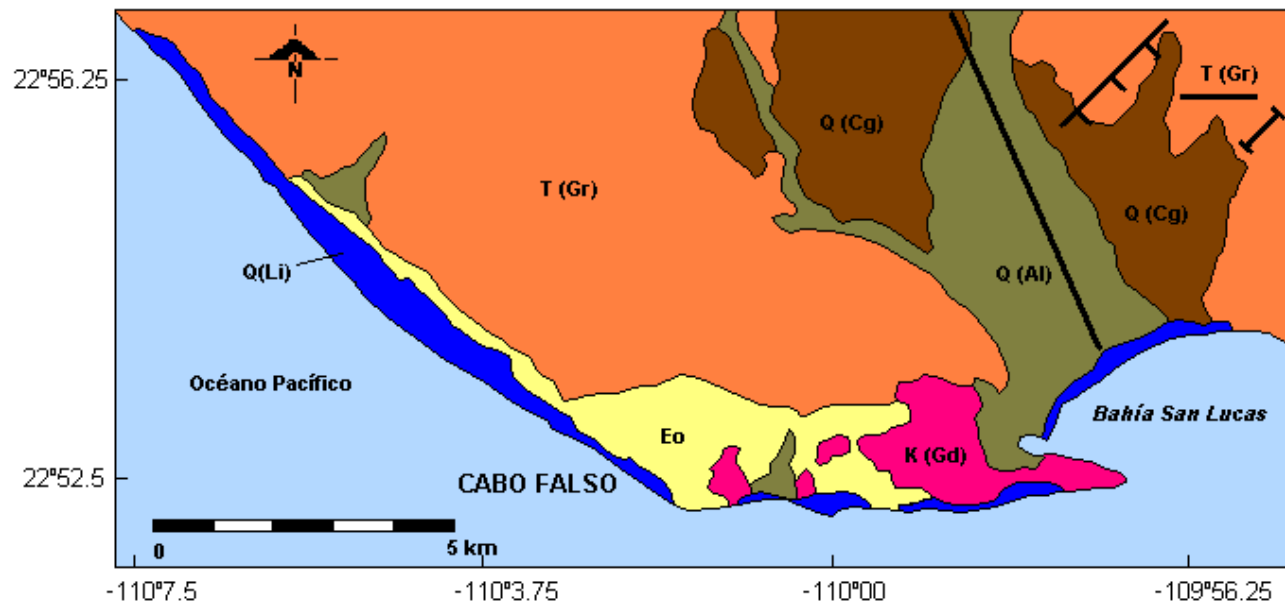


Figura 1. Batimetría y localización del área de estudio (interpolado a partir de una carta publicada por Defense Mapping Agency, USA, 1984).












SIMBOLOGÍA		
ROCAS IGNEAS	ROCAS SEDIMENTARIAS	ESTRUCTURAS
 T (Gr) Granito	 Q (Cg) Conglomerado	 Dique
 K (Gd) Granodiorita	 Q (Eo) Eólico	 Falla normal
T Terciario	 Q (Al) Aluvión	 Contacto
Q Cuaternario	 Q (Li) Litoral	
K Cretácico		

Figura 2. Litología y sedimentos de una porción de la Subprovincia del Cabo (modificado de INEGI, 1984)

En la costa occidental de esta provincia, adyacentes al Océano Pacífico, las playas son extensas con depósitos eólicos formando amplios cordones de dunas y con sedimentos de playa que contienen principalmente arenas gruesas. Estas playas se encuentran interceptadas por promontorios rocosos de granito. En la porción oriental, en el Golfo de California, las playas son de bolsillo con sedimentos de tamaño de arenas a gravas, y con cordones de dunas de baja altura.

### 2.3 Plataforma continental

La plataforma continental en esta zona del Océano Pacífico es generalmente estrecha y de pendiente fuerte. Los 10 m de profundidad se alcanzan a una distancia aproximada de 500 m a partir de la línea de costa (Figura 1).

Generalmente los sedimentos presentes en la plataforma continental son de dos tipos (Kennett, 1982, capítulo 10): los primeros son sedimentos costeros modernos que se encuentran en equilibrio con los ambientes actuales, y el segundo tipo son los sedimentos relictos o antiguos, los cuales no están en equilibrio con los ambientes actuales. Las arenas modernas por lo general se depositan en una franja de 6 km adyacente a la línea de costa. Más allá de esa franja se encuentran los sedimentos relictos de la plataforma central y exterior (Figura 5). Estos se distinguen de las arenas modernas por su rugosidad, contenido de hierro y por su asociación con restos de conchas de bivalvos y otros organismos. Este esquema general de la distribución del sedimento en las plataformas continentales modernas probablemente no se pueda aplicar a todas las regiones. Sin embargo, nos proporciona una idea general de la distribución y tipo de sedimento que se presenta en la plataforma continental interna.

### 2.4 Mareas

Las mareas astronómicas a lo largo de las costas del Pacífico son de tipo mixto, presentando diferencias diurnas pronunciadas. Los rangos de marea presentan una variabilidad espacial a lo largo de la costa, sin embargo, los rangos de marea promedio y de mareas vivas generalmente no discrepan mucho de sus valores promedio de 1.37 m y 1.8 m respectivamente (Emery, 1960).

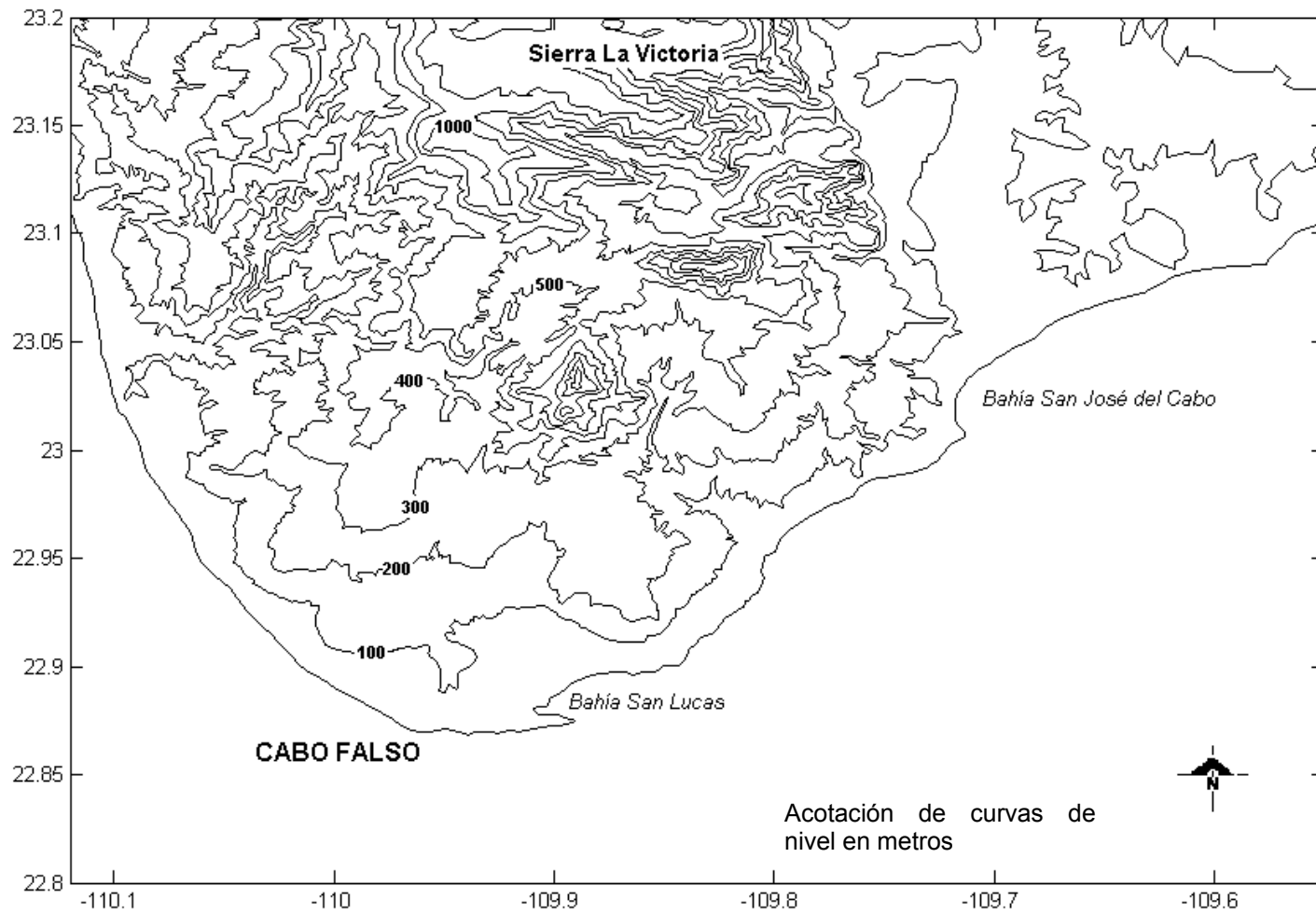


Figura 3. Rasgos topográficos de la porción sur de la Provincia del Cabo (modificado de INEGI, 1981).



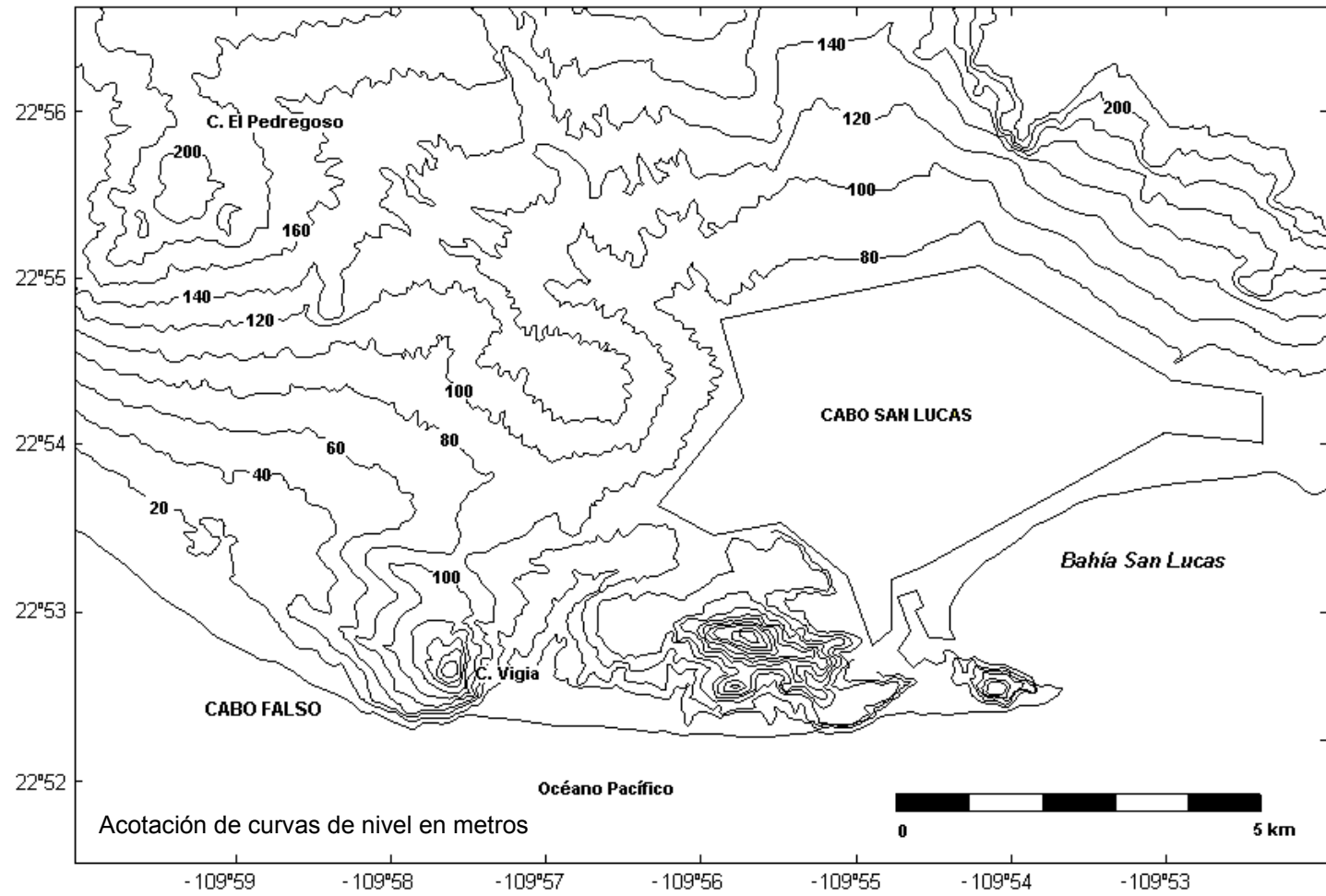


Figura 4. Rasgos topográficos del área de estudio y Cabo San Lucas (modificado de INEGI, 1985).

El análisis de series de tiempo largas del nivel del mar obtenidas en varias estaciones mareográficas a lo largo de la costa occidental de la Península de Baja California indican que la onda de marea se propaga a lo largo de la costa hacia el noroeste (Godín *et al.*, 1980).

Específicamente para la estación mareográfica más cercana al área de estudio (San José del Cabo), se encontró un rango de marea promedio de 0.94 m y de 1.34 m durante mareas vivas (Emery, 1960). La predicción de mareas realizada por el Departamento de Oceanografía Física del CICESE, establece que la marea predominante en Cabo San Lucas es semidiurna, lo cual significa que presenta dos máximos y dos mínimos en un día. Los rangos de marea promedio fueron de 60 cm durante las mareas muertas y 176 cm durante las mareas vivas, para enero del 2002 (invierno), y en junio (verano) del mismo año esos rangos cambiaron a 47 cm y 162 cm en mareas muertas y vivas, respectivamente.

Las intensidades típicas de las corrientes de marea adyacentes a la zona de estudio no han sido medidas directamente. Sin embargo, la naturaleza reversiva de las corrientes de marea sugieren que no juegan un papel importante en el transporte de sedimento.

## 2.5 Oleaje

En esta zona del Pacífico, el oleaje predominante que llega del noroeste a la costa, debido a la topografía presente, incrementa su grado de refracción y modifica la morfología de la zona costera. Encontrando una serie de playas orientadas con respecto al oleaje procedente del Pacífico, como es el caso de la playa de Cabo Falso. La poca variabilidad y larga duración del viento, hacen que el oleaje presente en las costas del Pacífico este considerado de alta energía (Wright *et al.*, 1973).

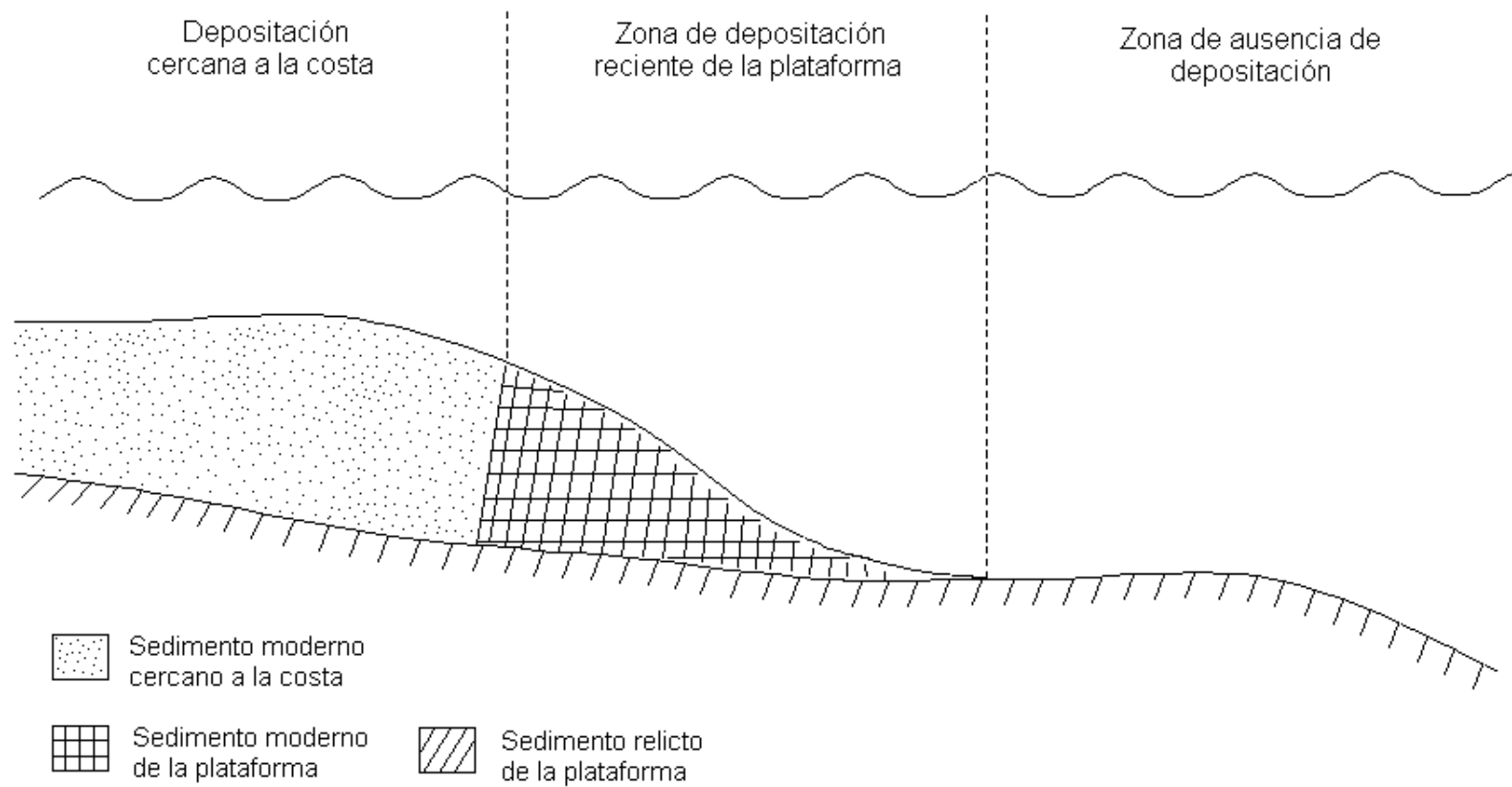


Figura 5. Esquema general de las zonas de deposición del sedimento en la mayoría de las plataformas continentales modernas (modificado de Kennett, 1982).

De acuerdo a una serie de tiempo de 4 días realizada en la Bahía de Cabo San Lucas por el departamento de Oceanología de CICIMAR durante abril de 1999 (primavera), se encontró que el promedio de altura significativa en esta zona es de 2.7 m con un periodo de 3.2 s y una dirección predominante del sur-sureste. Otra serie de mediciones realizadas en noviembre del 2000 (otoño), indicaron que la altura significativa disminuyó a solo 0.5 m, con un periodo de 11.6 s y con la misma dirección predominantemente del sur-sureste (Troyo *et al.*, 2001). Estos valores encontrados proporcionan información general del comportamiento del oleaje de la Bahía de Cabo San Lucas, sin embargo, como la Bahía se encuentra protegida, muy probablemente el oleaje es de menor energía que el que se presenta en Cabo Falso que es una zona expuesta al oleaje del Pacífico.

## 2.6 Clima

### 2.6.1 Temperatura, precipitación y viento

La región litoral del Cabo, presenta una temperatura media anual de 22°C, con una mínima promedio de 16°C, durante enero y una máxima promedio de 29°C para el mes de agosto (Figura 6). Por su latitud, parte de esta región se localiza dentro de la zona tropical, y por la presencia de ciclones que producen mayor humedad, en esta región se desarrolla un clima subtropical (INEGI, 2000).

La precipitación pluvial promedio anual para el área es de 345 mm, localizándose una máxima de 600 mm en la zona de la Sierra de La Victoria y una mínima en la franja costera de 200 mm (Figura 7). El mes con más lluvias es septiembre, con una precipitación promedio de 118 mm. En verano Baja California Sur está sujeta a la acción de tormentas tropicales y ciclones. Estos eventos producen precipitaciones muy intensas, aunque de poca duración y extensión, las cuales provocan descargas de arroyos que transportan cantidades importantes de sedimento (INEGI, 1996).

El estado de Baja California Sur está influenciado por los vientos alisios cerca de la superficie y los contralisios en los niveles superiores de la atmósfera. Sin embargo, debido a las diferentes estaciones del año, se forman dos centros de alta presión que influyen en la circulación atmosférica de esta región.

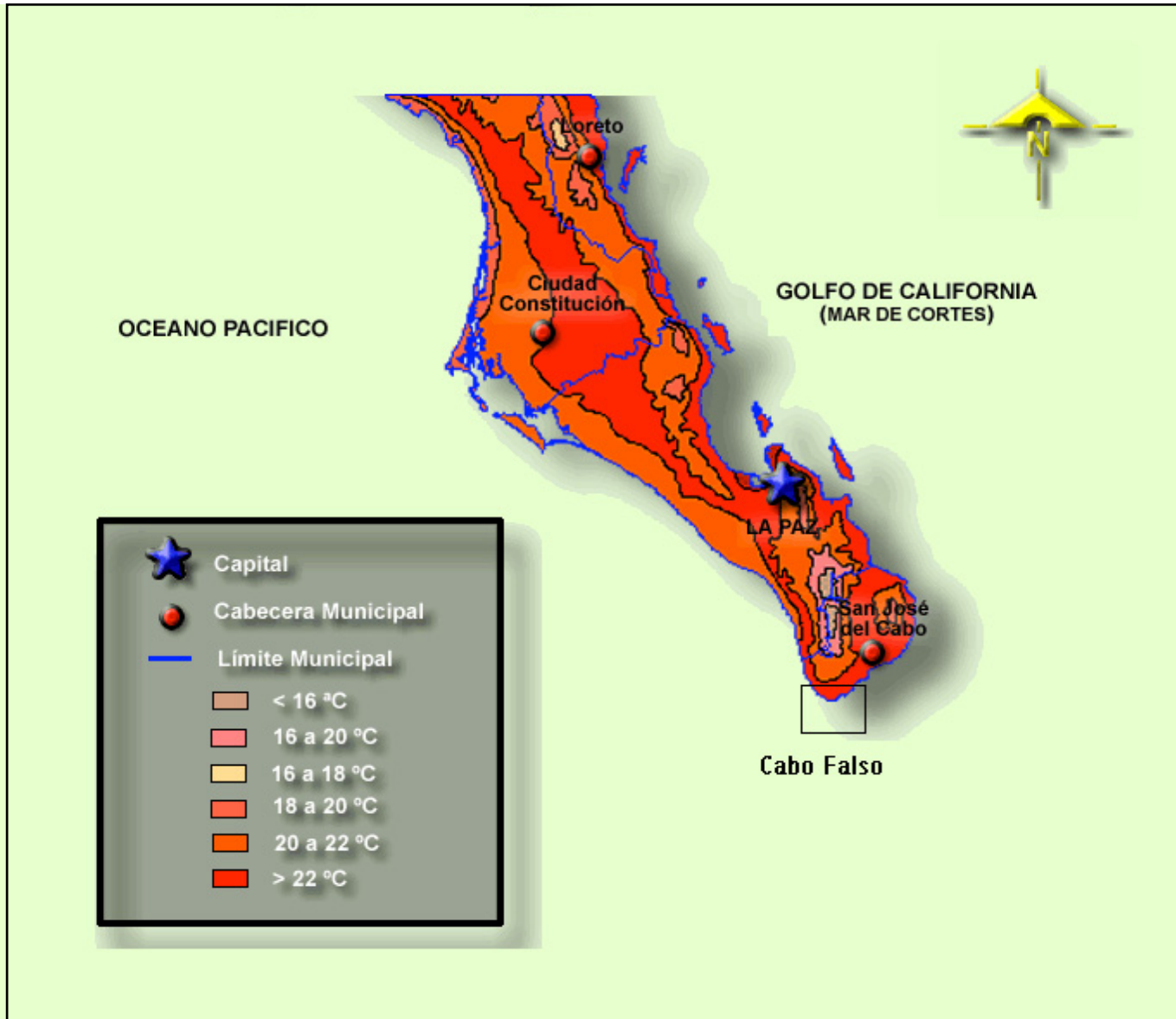


Figura 6. Temperatura media anual en el área de estudio y zonas aledañas (INEGI; 2000)

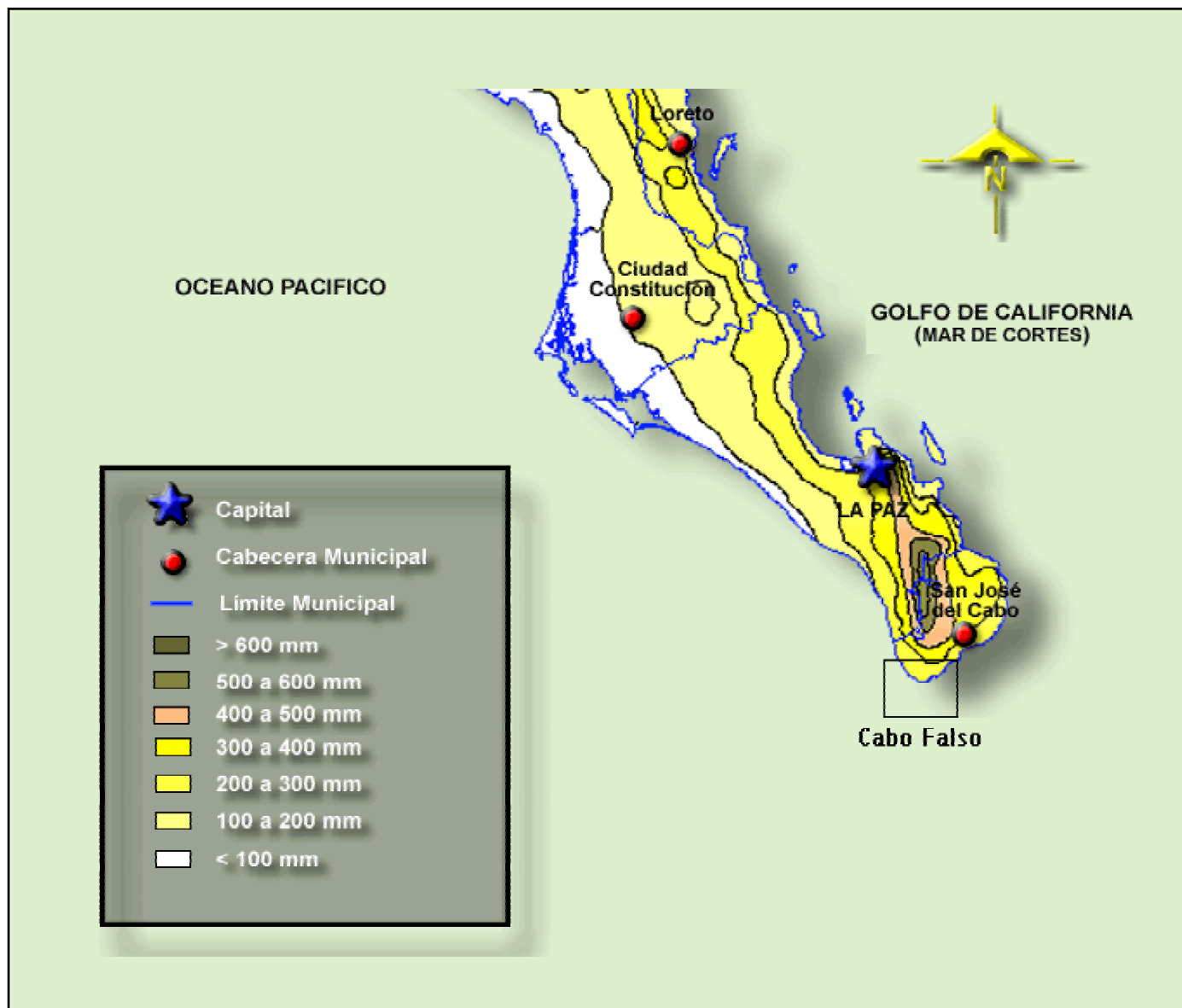


Figura 7. Precipitación media anual en el área de estudio y zonas aledañas (INEGI, 2000)

La península de Baja California, particularmente el litoral occidental está dominada la mayor parte del año por vientos con una componente del noroeste (Maderey, 1975).

## 2.7 Régimen de drenaje

En esta provincia no se presentan corrientes de agua superficial perennes, aunque sí varios arroyos intermitentes; el de mayor importancia es el arroyo San José, que nace en la sierra La Laguna y desemboca en la Bahía de San José del Cabo (Figura 8). Existen otros arroyos en la zona de San Lucas y son, “El Salto Seco” y “El Salto”, los cuales descargan principalmente en la Bahía de dicha ciudad. En el área de Cabo Falso existe una cuenca de drenaje pequeña, ““El Prieto””, pero sus arroyos intermitentes no drenan al Océano Pacífico debido a la presencia de cordones de dunas que bloquean su paso, por lo que el agua se infiltra en estos depósitos.

Durante las lluvias torrenciales o huracanes, el agua de los arroyos lleva gran fuerza y erosiona de forma perpendicular a los cordones de dunas al abrirse camino hacia el mar para descargar cantidades abundantes de sedimentos. Es el caso de los arroyos localizados al norte, que muy probablemente son importantes fuentes de abastecimiento de material sedimentario hacia la zona de estudio, principalmente el arroyo “El Migriño”, el cual, aunque se localiza en una cuenca pequeña, durante eventos de huracán o de precipitaciones torrenciales, probablemente transporta grandes cantidades de sedimento hacia la zona costera.

## 2.8 Vegetación

Debido a que las dunas son producto de las interacciones entre el viento y el sedimento, las características de ambos juega un papel importante en determinar el tipo y tamaño de las dunas (Lancaster, 1995). Estas interacciones son modificadas por la presencia de vegetación. La cobertura vegetal es la que llega a estabilizar una duna, por lo tanto es importante conocer el tipo de vegetación que se desarrolla en las dunas.

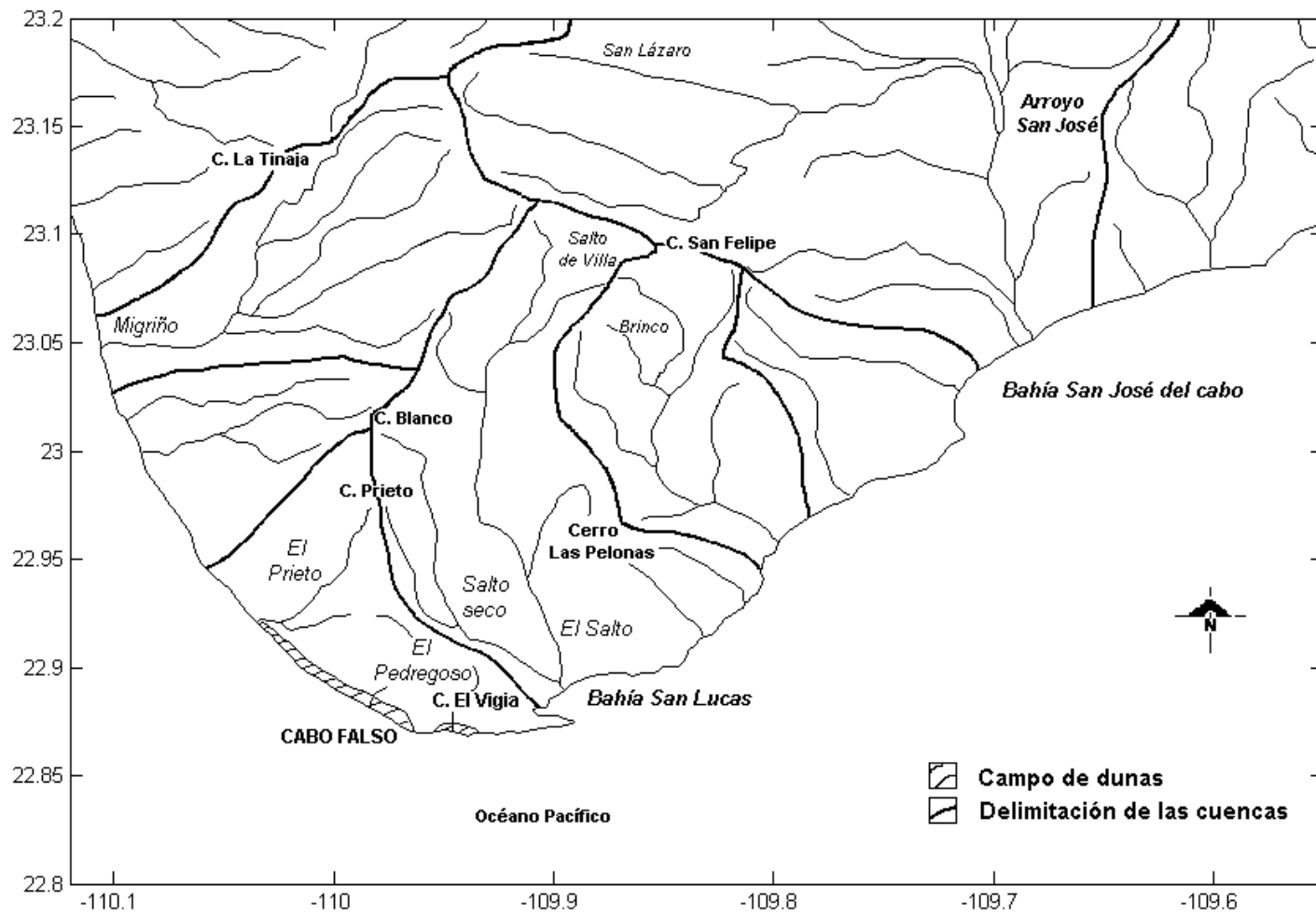


Figura 8. Drenaje de las cuencas hidrológicas del área de estudio y zonas aledañas (modificado de INEGI 1981).



La vegetación de la península, producto de la interacción de diversos factores, es afectada en gran medida por las condiciones climáticas. Las lluvias que se registran en el estado son muy irregulares en tiempo y en cantidad, de tal manera que las comunidades vegetales han desarrollado adaptaciones para soportar desde fuertes sequías hasta los llamados chubascos que arrasan con suelo, semillas y plántulas. En la mayor parte del estado se desarrollan matorrales xerófilos, como lo denominados sarcocaulé, sarcocrasicaulé de neblina, desértico micrófilo, crasicaulé y mezquital. Estos matorrales presentan baja cobertura y están constituidos de una amplia variedad de formas de vida adaptadas a la aridez (INEGI, 1995). En la Figura 9 observamos que los tipos de vegetación que predominan en el área de estudio son los matorrales y los pastos, y están presentes principalmente en la zona de las dunas antiguas estabilizadas. En la zona de las dunas activas, únicamente se presentan parches de este tipo de vegetación. Es importante mencionar que, a pesar de jugar un papel importante dentro del sistema costero, hasta el momento no existe un programa en donde se involucre la protección de la vegetación de las dunas.

## 2.9 Turismo

Los Cabos es uno de los principales destinos turísticos en el ámbito nacional y está conformado por dos desarrollos: Cabo San Lucas en donde se incluye el área de estudio (Cabo Falso) y San José del Cabo, ubicados en la costa del Océano Pacífico y en la costa del Golfo de California, respectivamente. Un 90 % de sus visitantes son extranjeros, principalmente de Estados Unidos. Cuenta con una afluencia total promedio de 500 mil turistas anuales (FONATUR, 2001).

Con base en los reportes anuales de ocupación hotelera, elaborados por Fonatur, durante el año de estudio (2001), el mes con el mayor porcentaje de ocupación fue febrero con alrededor de un 78 %, y el de menor ocupación fue septiembre con un 30.3 % (Figura 10).



Figura 9. Tipos de vegetación presentes en el área de estudio (A), principalmente en la zona de las dunas antiguas (B).

Con relación al número de pasajeros extranjeros que arriban a Los Cabos vía aérea, encontramos que durante el 2001, el mes con el mayor arribo de pasajeros fue marzo con 63, 211 pasajeros, y el de menor fue septiembre con 17, 502 pasajeros (Figura 11). El reporte de pasajeros nacionales nos indica que la época de mayor concurrencia es el verano, con un arribo de 15,206 y 13, 678 pasajeros durante julio y agosto respectivamente. Estos registros con los que se cuenta de ocupación hotelera y de pasajeros que arribaron a Los Cabos durante la temporada de estudio, nos pueden dar una idea general de las épocas de mayor turismo en la zona (invierno).

La actividad turística principal en la zona de estudio son las visitas guiadas de cuatrimotos. Sin embargo, actualmente no se cuenta con un registro de la cantidad de cuatrimotos que ingresan a la zona. La única información con la que se cuenta es que éstas visitas guiadas las realiza el personal de aproximadamente 5 compañías privadas, las cuales tienen aproximadamente entre 50-100 cuatrimotos cada una (comunicación personal con los guías turísticos).

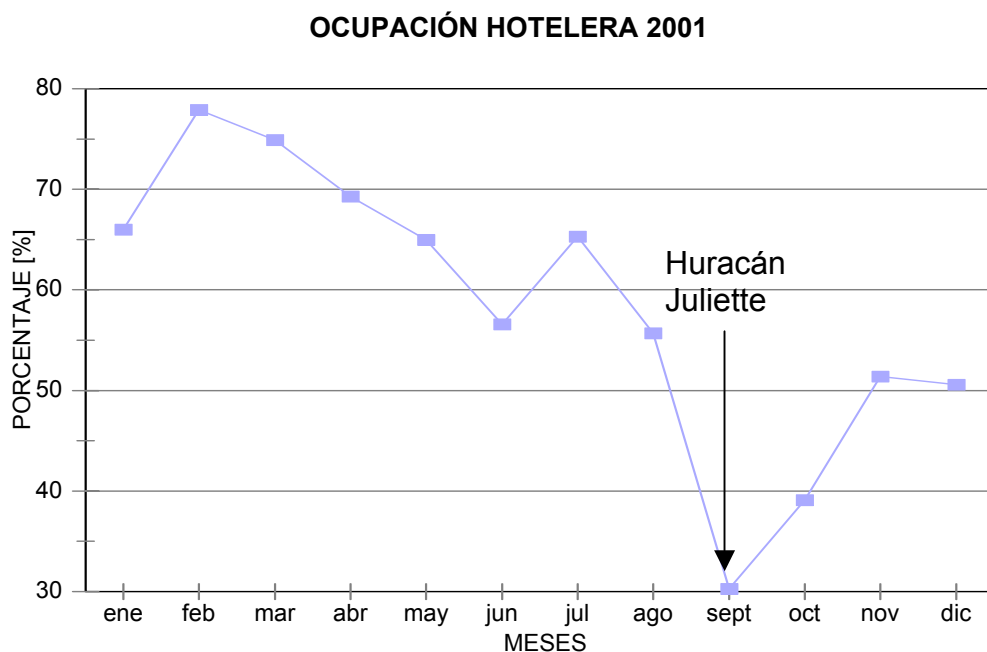


Figura 10. Registro de la ocupación hotelera en Los Cabos durante el 2001

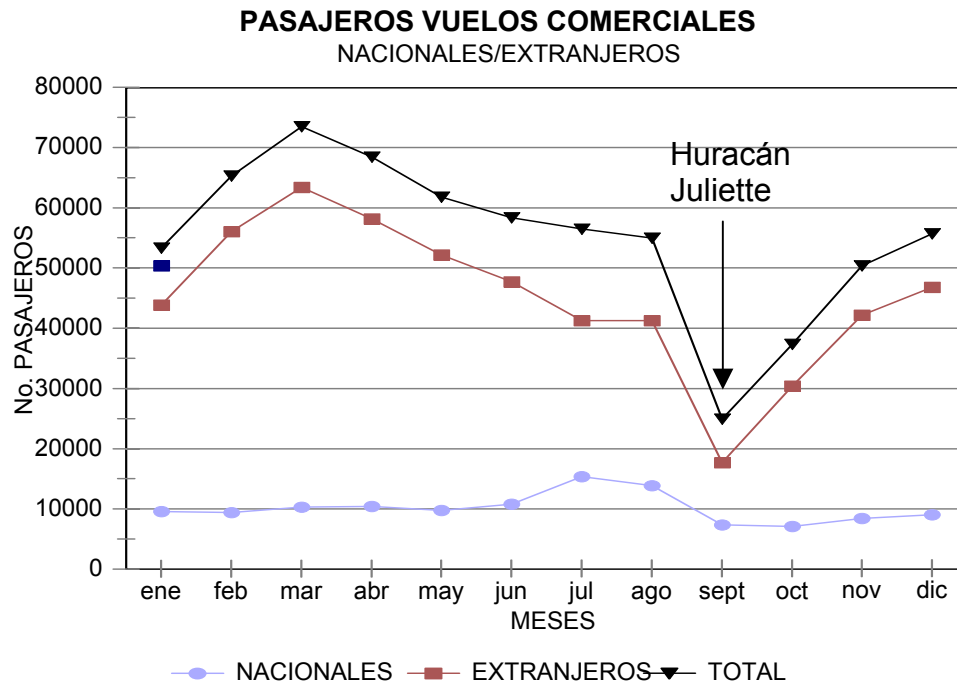


Figura 11. Reporte de pasajeros que arribaron a Los Cabos vía aérea durante el 2001.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Geomorfología**

Con la finalidad de detectar cambios en la morfología del área de estudio se realizó un análisis comparativo de fotografías aéreas escala 1:70,000, y se definieron las áreas impactadas, o bien, las que presentaban cambios marcados en su morfología y en la cobertura vegetal. Las series de fotografías aéreas con las que se contó para realizar la comparación fueron de los años 1972 y 1993 (INEGI). Para ampliar la información que se obtuvo mediante las fotografías, se realizaron observaciones directas de los aspectos geomorfológicos más sobresalientes del área.

##### **3.1.1 Perfiles topográficos**

Con el propósito de conocer la dinámica morfológica de las dunas y de la playa se realizó un levantamiento topográfico estacional de tres perfiles perpendiculares a la línea de costa, comenzando en la berma de la playa y finalizando en la parte más elevada de los depósitos eólicos (cresta), separados cada uno de los perfiles aproximadamente 250 metros. El perfil que se localiza en la parte noroeste (perfil 1) del área de estudio está separado por un cerco de los otros dos perfiles, y se encuentra fuera de la zona de la actividad recreativa (Figura 12). Los perfiles de playa se ubicaron en distancias que se permitiera observar la interacción entre éstos, de tal manera que se tuviera la posibilidad de evaluar el transporte litoral a lo largo de la costa. Se hicieron anotaciones cuidadosas de los rasgos morfológicos de la playa, los cuales también son utilizados para una valoración cualitativa del transporte litoral. Las mediciones de los perfiles perpendiculares se llevaron a cabo en marzo, junio y diciembre del 2001, y en febrero del 2002.

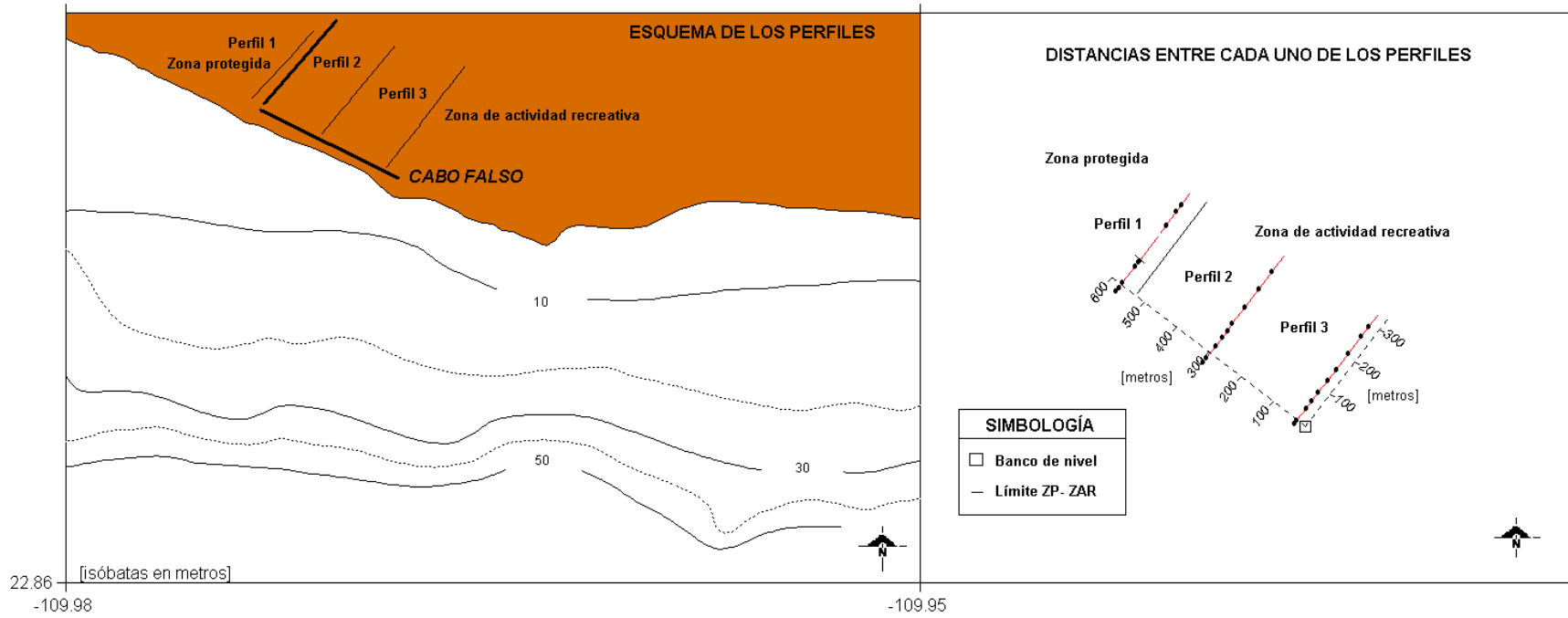


Figura 12. Distancias, delimitación y esquema de los perfiles topográficos.

Para levantar los perfiles topográficos, fue necesario definir las estaciones y posteriormente tomar un punto como cota de partida. Se tomaron aproximadamente 35 lecturas por cada perfil con una Estación Topográfica marca SOKKIA (set 3BII) y un estadal de espejos. Se marcó un banco de nivel arbitrario sobre una punta rocosa, y se colocaron mojoneras para tener la ubicación exacta de cada uno de los perfiles. Es importante mencionar que por dificultades técnicas, de los perfiles topográficos realizados en marzo, únicamente se pudieron recuperar los datos del perfil de playa 1 y 2, y los del perfil 3 tanto de la playa como de la duna no se incluyeron en el análisis. Una vez graficados los perfiles topográficos, se calculó el área bajo la curva de cada uno, y posteriormente se determinó el cambio de volumen de sedimento por día para cada periodo monitoreado.

### 3.2 Meteorología

En el área de estudio se instaló una estación meteorológica UNIDATA (modelo 6522A), con el objetivo de contar con un registro anual del comportamiento del viento y poder definir, con ayuda de la información generada por los perfiles topográficos, la interrelación de las condiciones meteorológicas con la dinámica morfológica de las dunas. La estación meteorológica se instaló en la parte superior de la torre del Faro de Cabo Falso, la cual está sobre la cima del cerro El Vigía, a aproximadamente 210 m sobre el nivel medio del mar y a una distancia de la costa de 500 m. Lo ideal hubiera sido instalar la estación en las dunas pero como no fue posible (por seguridad del equipo), finalmente se tuvo que instalar en el cerro. Esta estación registró la velocidad y dirección del viento, la temperatura ambiente, la radiación y la presión atmosférica cada 10 minutos. El registro de la estación meteorológica comenzó en junio y finalizó a finales de septiembre del 2001. Es importante mencionar que el paso del huracán *Juliette* por el área de estudio durante el periodo del 26 al 28 de septiembre del 2001, ocasionó daños severos a la estación meteorológica y como consecuencia no fue posible contar con un registro anual de las condiciones del viento. Por lo tanto únicamente nos enfocamos a los datos registrados durante el verano.

Debido a que la estación meteorológica se tuvo que instalar a una altura de 210 m sobre el nivel medio del mar, fue necesario hacer una corrección de la velocidad del viento por medio de un perfil teórico (Figura 13) que proporciona la variación vertical de la velocidad por efecto de la fricción de la atmósfera con la tierra (Tverskoi, 1962):

$$u(z) = u_{ref} \cdot \left[ \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)} \right]$$

En donde:

$z_{ref}$  = altura de la velocidad del viento observada [m]  
 $u_{ref}$  = velocidad del viento correspondiente a  $z_{ref}$  [ $ms^{-1}$ ]  
 $z_0$  = longitud de rugosidad [m]  
 $u(z)$  = velocidad del viento [ $ms^{-1}$ ] a la altura  $z$  [m]

Dicha formula fue utilizada para obtener el valor teórico de la velocidad del viento a la altura promedio de las dunas (aproximadamente 20 m sobre el nivel medio del mar) a partir de los datos registrados en la estación meteorológica (a 210 m). El valor de la longitud de rugosidad  $z_0$  fue tomado como 0.03 m, el cual es un valor determinado empíricamente y que corresponde a un área abierta con edificios muy dispersos y colinas suavemente redondeadas (Tverskoi, 1962).

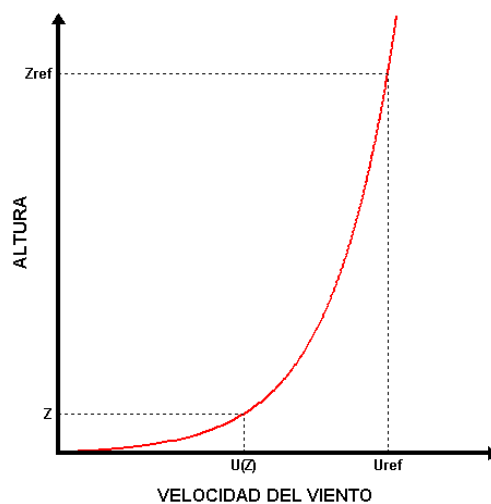


Figura 13. Variación vertical teórica de la velocidad del viento en los primeros cientos de metros de la atmósfera por efecto de la fricción con la tierra.



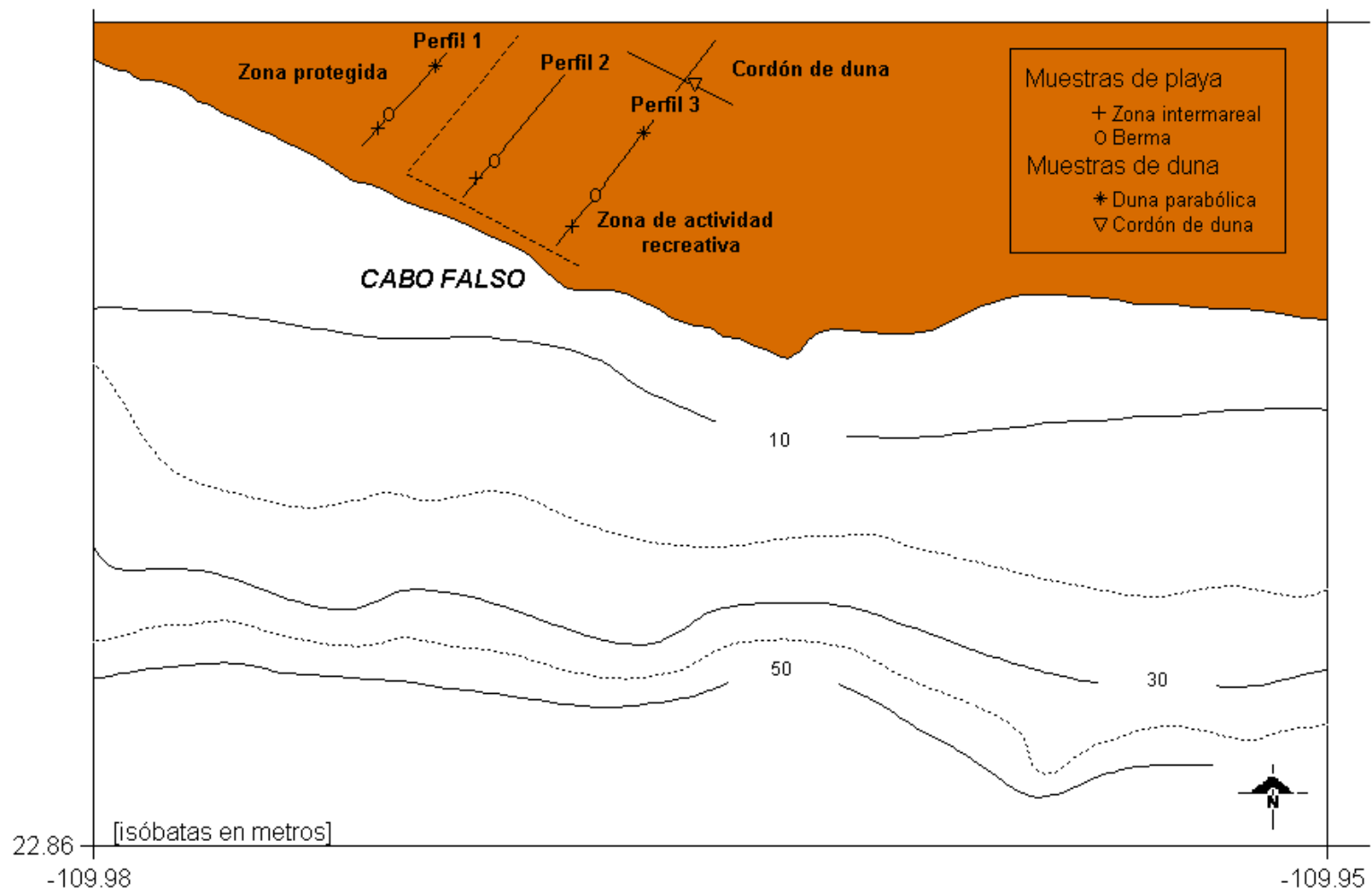


Figura 14. Localización de los sitios de colecta de las muestras de playa y duna, y ubicación de los perfiles topográficos.

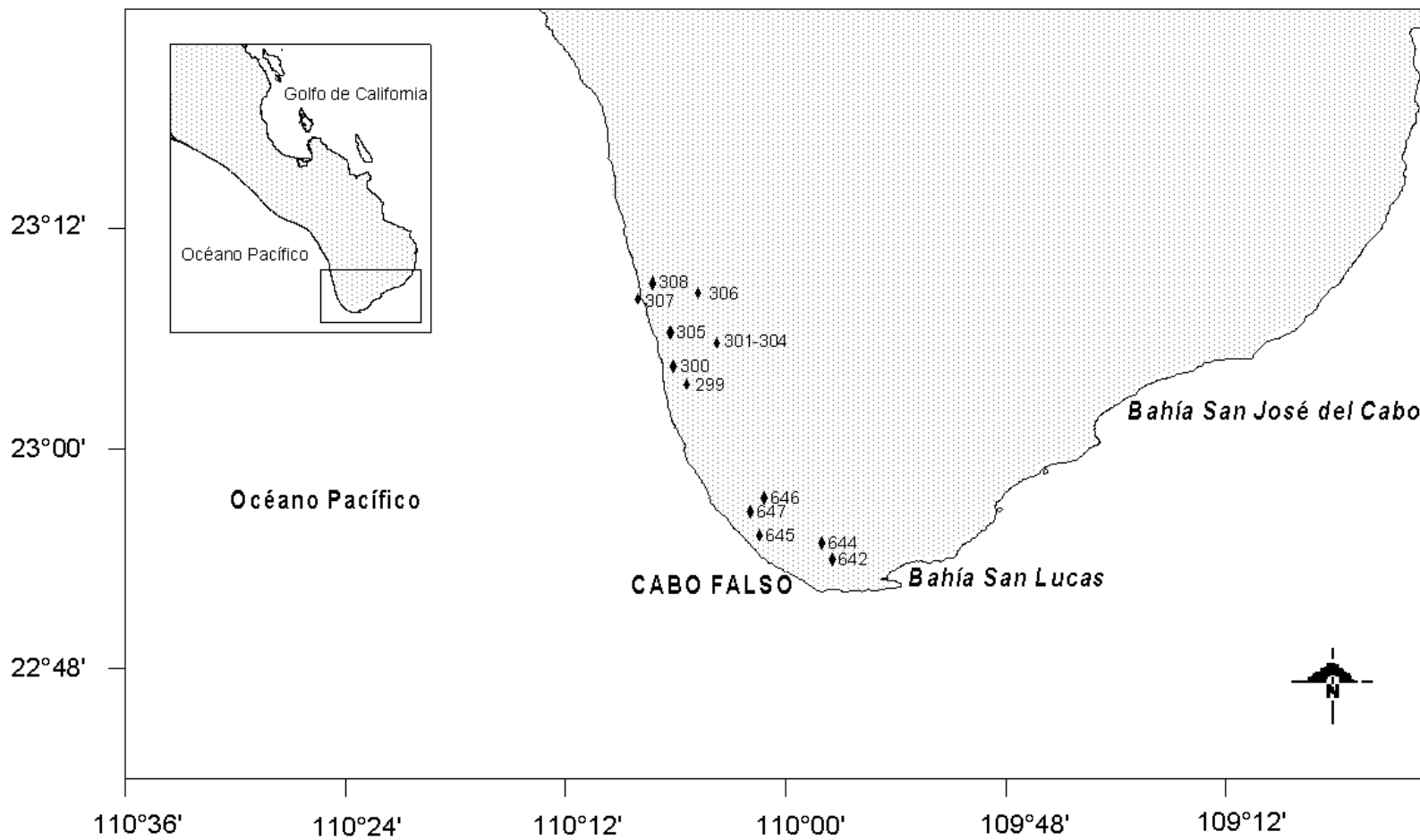


Figura 15. Localización de las muestras colectadas en los arroyos.

### 3.3 Granulometría

#### 3.3.1 Introducción

El trabajo de campo se realizó a lo largo de un año, con muestreos de playa en marzo, junio, y noviembre del 2001 y en febrero del 2002 (muestras de berma y zona intermareal). En mayo y octubre del 2001 se hizo un muestreo de las crestas y vados o caminos del cordón de duna, y éste muestreo finalizó en febrero del siguiente año. Se incluyó otro muestreo, realizado en la parte intermedia de los depósitos eólicos (duna parabólica) durante octubre y noviembre del 2001 y febrero del 2002 con la finalidad de darle un seguimiento a los cambios texturales presentes en el sedimento a partir del paso del huracán *Juliette* por el área de estudio. Además de los muestreos anteriores, se realizaron otros en los arroyos durante septiembre del 2001 y abril del 2002. Para el procesamiento de las muestras se llevó a cabo un análisis granulométrico, siguiendo los métodos convencionales descritos por Folk (1966). Este análisis es una herramienta muy útil para describir las propiedades de los sedimentos. Las partículas en los sedimentos o fragmentos de rocas sedimentarias varían en tamaño, van desde unas cuantas micras a tamaños mayores. Debido a esta característica en el tamaño de las partículas, escalas logarítmicas o geométricas son comúnmente utilizadas para expresar el tamaño (Boggs, 1995). El tamaño de grano puede ser medido por una gran variedad de técnicas. La técnica a escoger depende principalmente del objetivo del trabajo, el rango de tamaño a medir y el grado de consolidación del sedimento o roca sedimentaria. En este trabajo se utilizó el análisis por tamizado que se describe posteriormente.

#### 3.3.2 Número de muestras colectadas

El número de muestras obtenidas para este análisis, de cada uno de los ambientes fue: 24 para la playa (3 muestras de berma y 3 de la zona intermareal por 4 meses monitoreados), 16 del cordón de duna (6 muestras por 2 meses y 4 en un mes), 6 de duna parabólica (2 muestras por 3 meses monitoreados), 15 de arroyos (5 muestras en septiembre del 2001 y 10 en abril del 2002).

### 3.3.3 Equipo de muestreo

Las muestras de playa y duna fueron colectadas con un cubo de aluminio (10 x 10 x 10 cm, con un peso de aprox. 1.5 kg) con el objeto de obtener un volumen constante y muestras representativas. Las muestras de arroyo se colectaron sobre el lecho del arroyo, obteniéndose aproximadamente 3 kg de sedimento con una pala y se vació en un cuarteador, hasta obtener aproximadamente un kilo de muestra.

### 3.3.4 Localización de las muestras

Las muestras del cordón de duna se obtuvieron en las crestas y vados de la misma, las muestras de playa fueron colectadas en la berma y zona intermareal de cada uno de los perfiles topográficos y las muestras de la duna parabólica se colectaron en la parte intermedia de la duna en los perfiles 1 y 3 respectivamente. En la Figura 14 se observa la ubicación de las muestras de playa y duna, y en la Figura 15 se localizan las muestras de arroyo utilizadas para el análisis.

### 3.3.5 Análisis de tamizado

El tamizado de las muestras se realizó cada 0.25 Ø, de acuerdo a la escala logarítmica de tamaños de Wentworth (1922, propuesta por Udden), con un tiempo de tamizado de 10 minutos. Posteriormente, el sedimento obtenido fue pesado y el valor del peso se convirtió a porcentaje de peso total.

#### 3.3.5.1 *Significado geológico*

Para conocer las características texturales de las muestras colectadas, como son el tamaño medio de grano, selección y sesgo, el programa estadístico del Método de los Momentos fue utilizado (Krumbein y Pettijohn, 1938). Este programa calcula la media, desviación estándar y sesgo. La media del sedimento nos indica el tamaño que predomina en la muestra. La desviación estándar es la expresión matemática del grado de selección del sedimento. El sesgo nos indica el grado de asimetría de la curva, si la muestra tiende a tener un sesgo positivo, nos

dice que la curva tiende a los finos y si la curva tiende hacia una distribución negativa nos indica una tendencia a los gruesos (Boggs, 1995).

### 3.3.5.2 Estadística

Los parámetros texturales del tamaño de grano pueden ser calculados directamente por el método matemático de los momentos y las formulas desarrolladas para definir esos parámetros son las siguientes:

Media (1<sup>er</sup> momento)

$$X_{\phi} = \frac{\sum fm}{n}$$

Desviación estándar (2<sup>do</sup> momento)

$$\sigma_{\phi} = \sqrt{\frac{\sum f(m - X_{\phi})^2}{100}}$$

Sesgo (3<sup>er</sup> momento)

$$S_{\phi} = \frac{\sqrt{\sum f(m - X_{\phi})^3}}{100 \sigma_{\phi}^3}$$

En donde:

$f$  = peso en porcentaje (frecuencia) de cada una de las clases de tamaño

$m$  = número clases de tamaño

$n$  = 100 cuando  $f$  está en porcentaje.

## 3.4 Mineralogía

El análisis mineralógico se realizó en las muestras de duna, playa y arroyo. Las muestras de playa que se utilizaron fueron las de la zona intermareal; del cordón de duna se utilizaron las de mayo, y de la duna parabólica las de octubre y febrero. La identificación de los minerales en los sedimentos se efectuó bajo el microscopio binocular empleando la técnica de conteo en la cual se identificaron y contaron 300 granos de tamaño entre 2.25-3 phi por muestra, y el total de cada mineral se convirtió a porcentaje de frecuencia. Los principales minerales que se cuantificaron fueron cuarzo, feldespato, anfíboles y micas, tanto en las muestras de playa como de duna y arroyo. Con estos datos mineralógicos se elaboraron diagramas ternarios de cuarzo/ feldespato/ anfíboles. Esta información se relacionó con los datos del análisis de Fourier Forma de Grano, lo cual contribuye a lograr una interpretación de la dinámica del sedimento.

### 3.5 Análisis de Fourier Forma de Grano

#### 3.5.1 Introducción

El análisis de la forma de las partículas de cuarzo por las series de Fourier fue propuesto originalmente por Ehrlich y Weinberg (1970) y consiste en representar el contorno del grano, expresado en coordenadas polares (el radio del grano medido a partir de un centroide como función del ángulo), por medio de series de Fourier. Este análisis nos permite descomponer la forma del contorno del grano en 24 formas elementales, o armónicos. Los armónicos son funciones periódicas que tienen, para cada grano, un valor determinado de amplitud y fase (Figura 16).

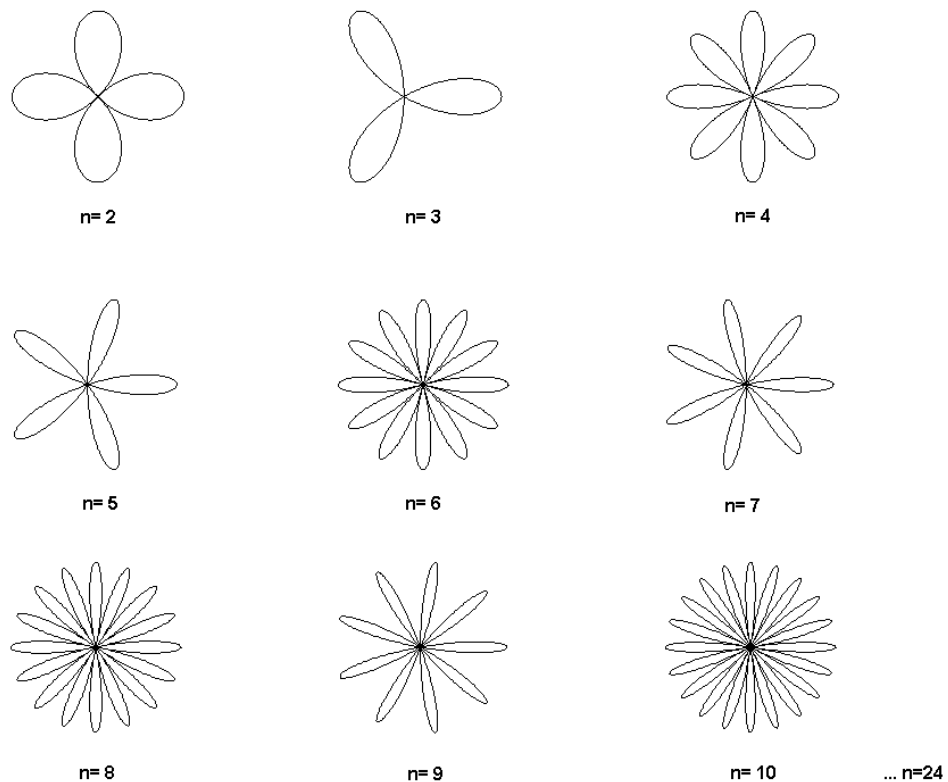


Figura 16. Representación en coordenadas cartesianas de los armónicos 2 al 10. En esta Figura todos los armónicos tienen amplitud igual a 1 y fase igual a cero. Es decir todos los armónicos tienen el mismo tamaño (amplitud= 1) y la misma orientación (fase= 0).

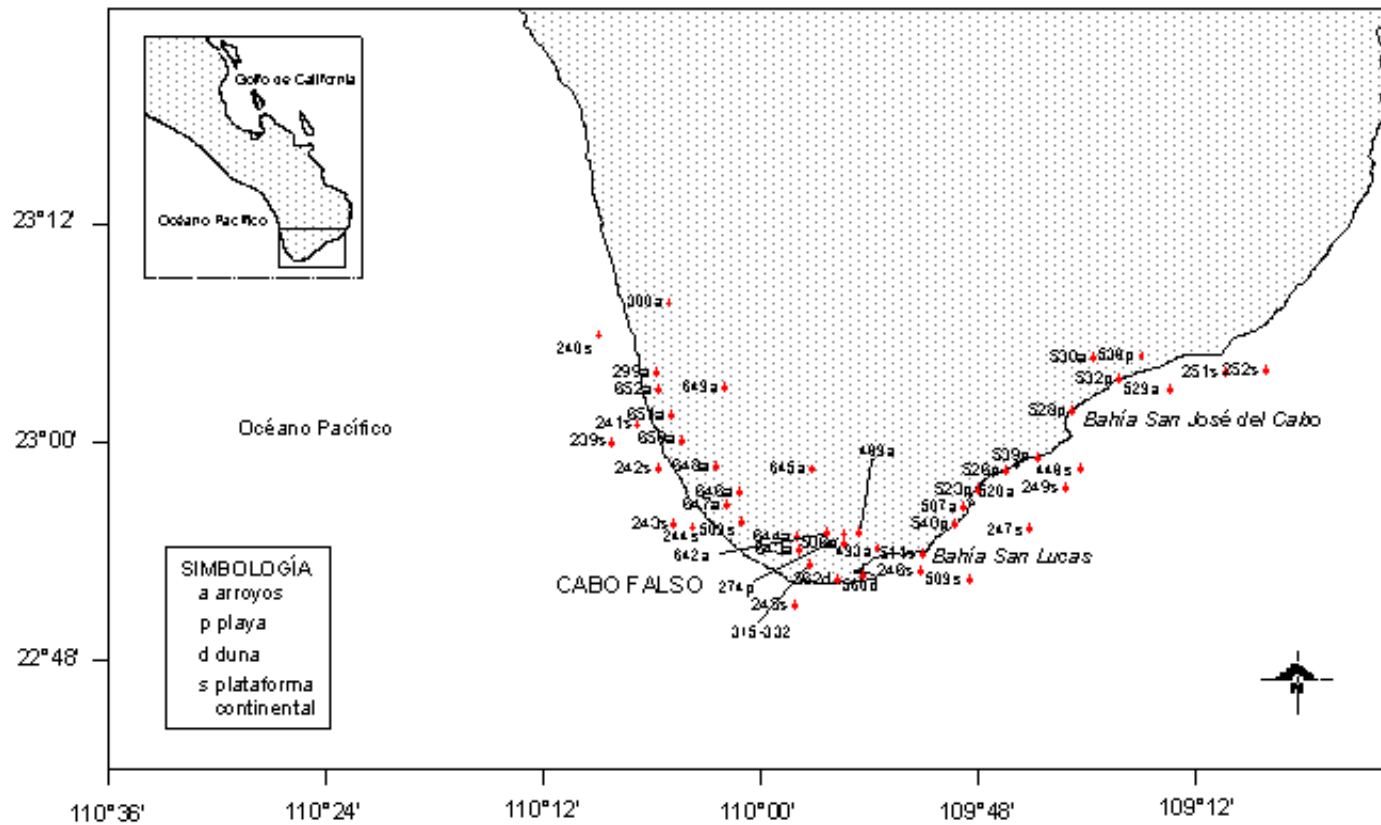


Figura 17 Ubicación de los sitios de colecta de las muestras de sedimento utilizadas en el análisis de Fourier Forma de Grano.

En general, este análisis ha sido revisado y rediseñado por un número importante de autores (Full *et al.*, 1981; Full y Ehrlich, 1982; Evangelista *et al.*, 1994; Thomas *et al.*, 1995), los cuales han observado que el análisis de Fourier puede ser aplicado como una herramienta para analizar cuantitativamente la forma del cuarzo y conocer el comportamiento de este mineral en la naturaleza. Comúnmente esta técnica ha sido utilizada para identificar fuentes de aporte, dirección de transporte de sedimentos en la zona litoral y ciclos de reactivación de depósitos eólicos (Clark y Osborne, 1982; Murillo, 1993). En este trabajo, ésta técnica fue utilizada como una herramienta importante para identificar de donde proviene la arena que está abasteciendo a los depósitos eólicos recientes de Cabo Falso, e inferir la dirección del transporte litoral.

### 3.5.2 Número de muestras colectadas

El número de muestras incluidas en este análisis fue 63, de las cuales 20 son de arroyo, 20 de playa, 7 de duna y 16 de plataforma; y se distribuyen desde el arroyo “El Migriño” hasta San José del Cabo. En la Figura 17 se observa la ubicación geográfica de cada una de las muestras utilizadas. También se tomaron en cuenta las muestras utilizadas para la granulometría y se adicionaron otras muestras tanto de arroyo como de playa, duna y las colectadas en la plataforma continental.

### 3.5.3 Equipo de muestreo

Las muestras de plataforma se obtuvieron gracias a la cooperación de la Armada de México, utilizando el buque Cañonero Juan de La Barrera y el Buque Oceanográfico Suchiate. El equipo que se empleó para la colecta de éstas muestras fue una draga tipo Van Veen, con una capacidad aproximada de 30 kg de sedimento. La profundidad a la que se colectaron los sedimentos se muestra en la Tabla 1. Para la colecta de las muestras de playa, duna y arroyo, el equipo utilizado fue el mismo descrito en la metodología de las muestras colectadas para el análisis granulométrico.

### 3.5.4 Digitalización de las muestras

En esta técnica el único mineral analizado es el cuarzo detrítico (Ehrlich y Weinberg, 1970; Schwarcz y Shane, 1969), y debido a que la forma de grano varía con el tamaño, únicamente se utilizó la fracción 0.25-0.50 mm (1.0-2.0 phi) para cada



una de las muestras. La muestra de sedimento del tamaño deseado se lavó con HCl diluido para remover sales y carbonatos incrustados en las superficies del cuarzo. Posteriormente se enjuagó con agua corriente y se puso a secar en un horno a 40°C. En un microscopio estereoscópico binocular se separaron 310 granos de cuarzo por muestra y se colocaron en un porta objetos para ser digitalizados. La digitalización de estos 310 gránulos se llevo a cabo mediante un sistema de *video-digitalización* (Evangelista *et al.*, 1994). Dicho sistema está formado por una video cámara, la cual se monta en un microscopio y se conecta a una consola de conversión análogo-digital, la cual a su vez está conectada a una computadora personal, transmitiendo así la imagen del grano en un monitor. La imagen del grano es analizada automáticamente con el fin de obtener la curva de su contorno. Todo este equipo es controlado mediante el uso de algoritmos que fueron escritos específicamente para digitalizar contornos de forma cerrada (Nelson *et al.*, en prensa).

### 3.5.5 Procesamiento de los datos

Los primeros datos utilizados en los algoritmos son las coordenadas cartesianas (x, y) digitalizadas de 310 granos de cuarzo (por muestra). Un subconjunto de 96 vértices ("*edge points*") definidos en un sistema de coordenadas polares es interpolado a partir de los 200-1500 pares originales de coordenadas cartesianas. Dicho subconjunto de coordenadas polares es utilizado para correr la rutina de Fourier Forma de Grano. Las rutinas de Fourier calculan los valores de las amplitudes de los armónicos y los ángulos de fases correspondientes a los primeros 24 armónicos de las series de Fourier. Estos 24 armónicos son suficientes para describir adecuadamente la forma de los granos de cuarzo (Full y Ehrlich, 1982).

La siguiente ecuación expresa la representación en series de Fourier del radio del grano como función ángulo polar:

$$r(\theta) = r_0 + \sum_{n=1}^N r_n \cos(n\theta - \phi_n) \quad (1)$$

En donde:

$r(\theta)$  = representación matemática del radio  $r$  correspondiente al ángulo polar  $\theta$   
 $r_0$  = es el radio promedio del contorno

$n$  = es el número de la componente de forma individual ( $n = 1, \dots, N$ , comúnmente referido como el número de armónico)

$N$  = es el número total de componentes de forma (24 armónicos)

$r_n$  = representa la amplitud o magnitud asociada con el armónico  $n$

$\phi_n$  = representa el ángulo de fase asociado con el armónico  $n$

$\theta$  = representa el ángulo polar

Los términos  $r_n$  y  $\phi_n$  son determinados utilizando la transformada de Fourier.

Las ecuaciones asociadas con estos cálculos son:

$$a_j = \frac{2}{m} \sum_{i=1}^m F_i \cos\left(\frac{2\pi ji}{m}\right)$$

$$b_j = \frac{2}{m} \sum_{i=1}^m F_i \sin\left(\frac{2\pi ji}{m}\right)$$

(2)

En donde:

$a_j$  = representa el componente real  $j$  de la transformada de Fourier

$b_j$  = representa el componente complejo  $j$  de la transformada de Fourier

$m$  = es el número de vectores polares definiendo la forma a ser analizada, y

$F_i$  = la "iesima" componente radial de los vectores polares (es decir los datos crudos consisten en una serie de ángulos polares  $\phi_i$  y sus correspondientes radios  $F_i$ ).

Los amplitudes y fases de cada armónico están dadas por:

$$r_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

(3)

$$\phi_n = \tan^{-1} \left[ \frac{b_n}{a_n} \right]$$

y finalmente el radio promedio de cada grano se define como:

$$r_0 = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m F_k$$

(4)

Cada uno de los granos fue descrito por un círculo de radio  $r_0$ , sumado a las series de curvas senoidales (armónicos), caracterizadas por una amplitud ( $r_n$ ) y un ángulo de fase ( $\phi_n$ ). Los primeros armónicos contienen información general de la forma del grano, como la elongación, triangularidad, cuadratura, y así sucesivamente (Figura 16). Los armónicos siguientes, por otra parte, representan características a escalas menores a lo largo del contorno de cada una de las partículas de cuarzo.

### 3.5.6 Estadística

Para el análisis estadístico subsiguiente, las amplitudes de cada uno de los armónicos se normalizaron por tamaño, dividiendo cada amplitud del armónico por el radio ( $r_0$ ) del círculo, definido éste por el radio polar promedio de los 96 vértices. El resultado de esta operación es que el análisis se enfoca en características que son aproximadamente de la misma proporción de la forma total (es decir las amplitudes de los armónicos están siendo medidas como características relativas al contorno total). En el análisis subsiguiente únicamente se utilizan las amplitudes de los armónicos, debido a que las fases, al depender de la orientación que tenía el grano al ser digitalizado, no contiene ninguna información geológica.

#### 3.5.6.1 *Método de máxima entropía*

Los datos medidos (24 valores de amplitudes normalizadas de armónicos para cada partícula con 310 granos por muestra), deben ser expresados por histogramas de frecuencia-forma discretos y analizados estadísticamente. Para definir el número óptimo y los valores de los intervalos de clase de la distribución, y para evaluar que grupo de los armónicos medidos contiene información significativa, se utilizó el Método de Máxima Entropía (Full, Ehrlich y Kennedy, 1984). Este método no solamente optimiza la comparación de los datos obtenidos, sino que también nos proporciona información acerca de los armónicos, indicándonos qué muestras son las que más difieren en forma.

#### 3.5.6.2 *Ji cuadrada*

La prueba de  $\chi^2$  es un método no paramétrico de determinar la manera menos sesgada en donde está la información más relevante con respecto a los armónicos. Mediante esta prueba definimos qué armónico (s) o qué combinación de armónicos deberían ser analizados.

#### 3.5.6.3 *Análisis de factores*

El análisis de factores es una técnica que se utilizó para identificar las diferencias en composición de forma, entre muestras de un mismo ambiente o muestras de ambientes diferentes. Cada uno de los factores corresponde a un grupo de caracteres, y usualmente en este análisis, dos factores son los que explican la

mayor parte de la información sobre la forma del grano. El factor 1 está asociado al grado de aspericidad de los granos y el factor 2 a su elongación (Clark y Osborne, 1982).

### 3.5.6.4 Análisis de vectores

El programa de “vectores” (Full *et al.*, 1982), se utilizó para determinar el número y composición de los miembros terminales (muestras más diferentes). El resultado final de este análisis, es que cada muestra está expresada en términos de porcentajes de cada miembro terminal calculado. La distribución de estos porcentajes de cada miembro terminal se representó en mapas, y con base en esto se realizó la interpretación geológica.

Tabla 1. Ambiente de depósito y coordenadas geográficas de los sitios de muestreo de sedimento para el análisis Fourier Forma de Grano

Clave*	No. Muestra	Amb.Dep.	Latitud Norte	Longitud Oeste	Nombre del lugar	Profundidad.
1	239	Plataforma	23° 0.059'	110° 8.2'	Punta San Cristóbal	84 m
2	240	Plataforma	23° 3.6'	110° 7.4'	Punta San Cristóbal	51 m
3	241	Plataforma	23° 1'	110°6.8'	Punta San Cristóbal	48.6 m
4	242	Plataforma	22° 58.6'	110° 5.7'	Punta San Cristóbal	64 m
5	243	Plataforma	22° 55.5'	110° 4.8'	Norte de Cabo falso	105 m
6	244	Plataforma	22° 54'	110° 3.1'	Cabo falso	103 m
7	245	Plataforma	22° 50.99'	109° 58.17'	Cabo San Lucas	115 m
8	246	Plataforma	22° 52.9'	109° 51.2'	Cabo San Lucas	63 m
9	247	Plataforma	22° 54'	109° 49.4'	Cabo San Lucas	78 m
10	248	Plataforma	22° 57.6'	109° 45.5'	Punta Palmilla	73 m
11	249	Plataforma	22° 57.5'	109° 43.2'	Punta Palmilla	49 m
12	251	Plataforma	23° 3.9'	109° 34.4'	San José del Cabo	57.6 m
13	252	Plataforma	23° 4'	109° 32.1'	San José del Cabo	87.36 m
14	274	Duna	22° 53.38'	109° 58.17'	Cabo Falso	
15	299	Arroyo	23° 3.90'	110° 5.833'	Punta San Cristóbal	
16	300	Arroyo	23° 4.50'	110° 6.117'	Punta San Cristóbal	
17	315	Playa	22° 52.64'	109° 58.383'	Cabo Falso	
18	316	Playa	22° 52.51'	109° 58.542'	Cabo Falso	
19	317	Playa	22° 52.502'	109° 58.100'	Cabo Falso	
20	318	Playa	22° 52.646'	109° 58.383'	Cabo Falso	
21	319	Playa	22° 52.514'	109° 58.542'	Cabo Falso	
22	320	Playa	22° 52.502'	109° 58.100'	Cabo Falso	
23	321	Playa	22° 52.646'	109° 58.383'	Cabo Falso	
24	322	Playa	22° 52.514'	109° 58.542'	Cabo Falso	
25	323	Playa	22° 52.502'	109° 58.100'	Cabo Falso	
26	324	Playa	22° 52.646'	109° 58.383'	Cabo Falso	
27	325	Playa	22° 52.514'	109° 58.542'	Cabo Falso	
28	326	Playa	22° 52.502'	109°58.100'	Cabo Falso	
29	327	Duna	22° 52.646'	109° 58.360'	Cabo Falso	

30	328	Duna	22° 52.502'	109° 58.095'	Cabo Falso	
31	329	Duna	22° 52.646'	109° 58.360'	Cabo Falso	
32	330	Duna	22° 52.514'	109° 58.520'	Cabo Falso	
33	331	Duna	22° 52.771'	109° 58.028'	Cabo Falso	
34	332	Duna	22° 52.771'	109° 58.028'	Cabo Falso	
35	489	Arroyo	22° 54.06'	109° 57.78'	Cabo San Lucas	
36	493	Arroyo	22° 53.34'	109° 56.52'	Cabo San Lucas	
37	506	Arroyo	22° 54.48'	109° 55.386'	Cabo San Lucas	
38	507	Arroyo	22° 54.36'	109° 53.67'	Cabo San Lucas	
39	509	Plataforma	22° 52.14'	109° 55.434'	Cabo San Lucas	15 m
40	511	Plataforma	22° 53.82'	109° 51.12'	Cabo San Lucas	10 m
41	520	Arroyo	22° 55.2'	109° 49.962'	Cabo San Lucas	
42	523	Playa	22° 57.42'	109° 48.006'	Cabo San Lucas	
43	526	Playa	22° 58.5'	109° 46.506'	Cabo San Lucas	
44	528	Playa	23° 1.74'	109° 42.858'	San José del Cabo	
45	529	Arroyo	23° 1.8'	109° 42.858'	San José del Cabo	
46	530	Arroyo	23° 4.68'	109° 41.682'	San José del Cabo	
47	532	Playa	23° 3.54'	109° 40.188'	San José del Cabo	
48	538	Playa	23° 2.22'	109° 42.456'	San José del Cabo	
49	539	Playa	22° 59.22'	109° 44.76'	San José del Cabo	
50	540	Playa	22° 55.5'	109° 49.284'	Cabo San Lucas	
51	560	Duna	22° 53.88'	109° 53.058'	Cabo San Lucas	
52	562	Duna	22° 52.44'	109° 55.776'	Cabo San Lucas	
53	642	Arroyo	22° 53.938'	109° 57.463'	Cabo Falso	
54	643	Arroyo	22° 54.07'	109° 57.904'	Cabo Falso	
55	644	Arroyo	22° 54.824'	109° 58.023'	Cabo Falso	
56	645	Arroyo	22° 56.819'	109° 59.768'	Cabo Falso	
57	646	Arroyo	22° 57.322'	110° 1.164'	Cabo Falso	
58	647	Arroyo	22° 56.543'	110° 1.916'	Cabo Falso	
59	648	Arroyo	22° 58.72'	110° 2.428'	Punta San Cristóbal	
60	649	Playa	23° 0.165'	110° 5.281'	Punta San Cristóbal	
61	650	Arroyo	23° 0.167'	110° 4.315'	Punta San Cristóbal	
62	651	Arroyo	23° 1.555'	110° 4.928'	Punta San Cristóbal	
63	652	Arroyo	23° 2.958'	110° 5.645'	Punta San Cristóbal	

\*Clave del análisis Fourier Forma de Grano.

## IV. RESULTADOS

### 4.1 Geomorfología

#### 4.1.1 Morfología general de las dunas del área de estudio

En la porción suroeste de la Península de Baja California se presenta una gran extensión de depósitos eólicos que abarcan aproximadamente 10 km a lo largo de la costa y aproximadamente 2 km hacia tierra, con una altura de 60 m. El área de estudio, la cual incluye la zona de actividad recreativa (circulación de cuatrimotos) y la zona protegida, abarca aproximadamente 1 km de longitud de toda la extensión de dunas y lo constituyen dunas recientes activas y dunas antiguas estabilizadas. Las dunas estabilizadas localizadas en la parte posterior a las dunas activas, están cubiertas por vegetación (Figura 18). En el campo de dunas activas se encuentran diferentes tipo de dunas (cordones de duna y dunas trepadoras), pero dominan las parabólicas (Figura 19). Los cordones de dunas frontales se desarrollan principalmente en la zona protegida justo detrás de la post-playa, con una altura de aproximadamente 2 m. Sin embargo, en la zona de actividad recreativa también está presente un cordón de duna paralelo a la línea de costa con una altura aproximada de 7 m, el cual se desarrolla en la parte intermedia del campo, en donde predominan las dunas parabólicas (Figura 20). Las dunas trepadoras las encontramos principalmente en la base del cerro “El Vigía”, localizado en la zona de actividad recreativa (Figura 21).

##### 4.1.1.1 *Dunas parabólicas*

Las dunas parabólicas son comunes en muchas costas, y se caracterizan por tener forma en U, con alguna vegetación pionera en los brazos y sin ésta en la parte frontal. Esta zona frontal, desprovista de vegetación es la que presenta más movimiento de material sedimentario en la duna (Bagnold, 1941). Las condiciones en las que se forman este tipo de duna no son muy conocidas, sin embargo, se piensa que están asociadas a una presencia de cobertura vegetal escasa y a regímenes de vientos unidireccionales. En el área de estudio se desarrollan grandes extensiones de este tipo de dunas, principalmente en la zona protegida (Figura 19).



Figura 18. Campo de dunas antiguas (parte superior), y dunas recientes próximas a la línea de costa.



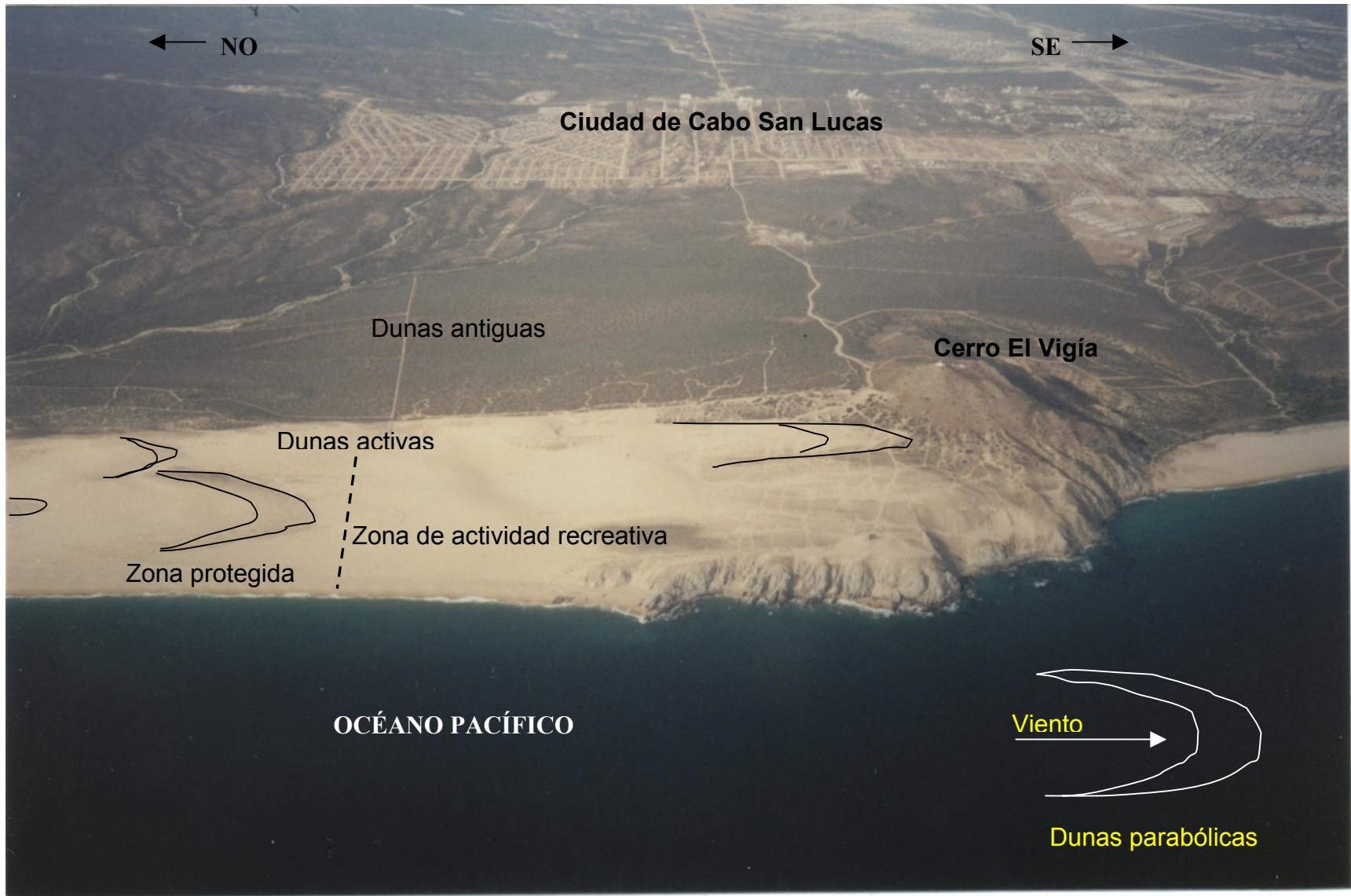


Figura 19. Dunas parabólicas presentes en el área de estudio.



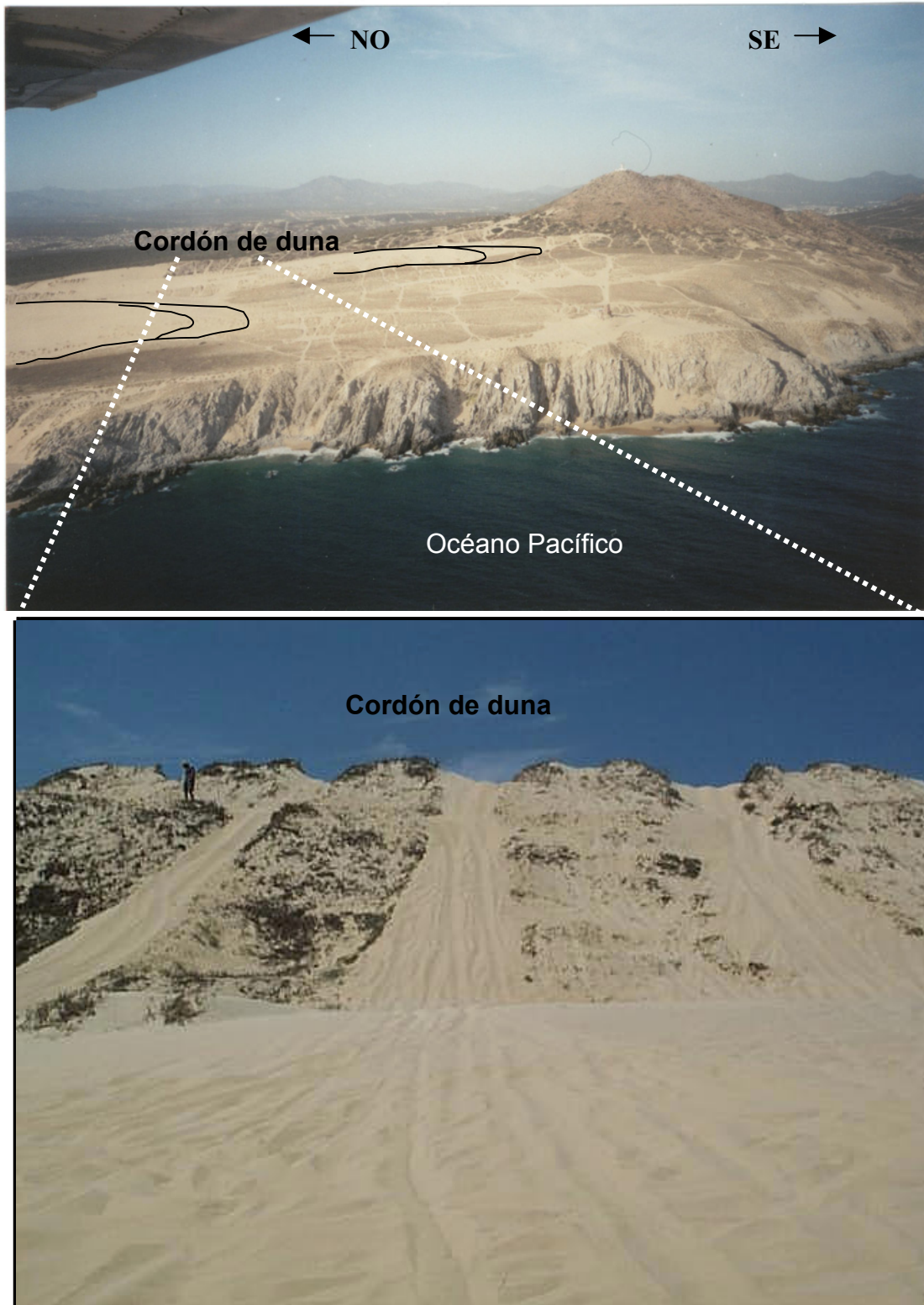


Figura 20. Cordón de duna presente en la zona de actividad recreativa. La persona parada en la parte superior del cordón nos da una idea de su dimensión.



Figura 21. Esquema de las dunas trepadoras presentes en el área de estudio.

#### 4.1.1.2 *Cordones de dunas*

Los cordones de dunas o dunas frontales son dunas acumuladas en donde la vegetación pionera comienza a crecer cercana a la playa. Este tipo de dunas depende principalmente de la interacción entre la fuente de material sedimentario, la vegetación y el viento (Barnes, 1977). En el área de estudio este tipo de dunas se presenta en la franja cercana a la costa tanto de la zona protegida como de la zona de actividad recreativa, y en la parte intermedia del campo de dunas de la zona de actividad recreativa (Figura 20).

#### 4.1.1.3 *Dunas trepadoras*

Para que se originen las dunas trepadoras es necesario que exista un obstáculo topográfico que favorezca la depositación del sedimento (Cooke *et al.*, 1993). Si la pendiente de la cara del cerro u obstáculo es menor que 30 °, no hay obstrucción del flujo, y por lo tanto no se desarrollan este tipo de dunas. Con pendientes entre 30-50 °, comúnmente este tipo de dunas se forman, creciendo sobre el obstáculo o cerro en forma de rampas de arena. Las dunas trepadoras caracterizan muchas colinas y escarpes en los desiertos (Evans, 1962), y en las costas principalmente con acantilados. Las dunas trepadoras de Cabo Falso son favorecidas para su desarrollo por la pendiente pronunciada del cerro El Vigía, y por la presencia de material sedimentario disponible en la playa y en las dunas parabólicas aledañas al cerro, el cual es transportado por el viento hasta la base del mismo, formando así dunas de este tipo (Figura 21).

#### 4.1.2 Destrucción de la vegetación de los campos de dunas

En las Figuras 23 y 24 se presentan ilustraciones de INEGI de los campos de dunas y la vegetación respectiva para los años 1972 y 1993. Estas fotografías nos muestran la posición de las dunas antiguas o inactivas, las dunas activas y la distribución de la vegetación. Al realizar una comparación de ambas fotos, es claro que lo que cambia es la presencia de vegetación. Para 1993 se ha perdido aproximadamente un 30% de vegetación en la zona de actividad recreativa. Además, en la parte sureste de la misma zona se aprecian parches de vegetación cortadas, quizás provocados por la acción del paso de los vehículos de recreación.



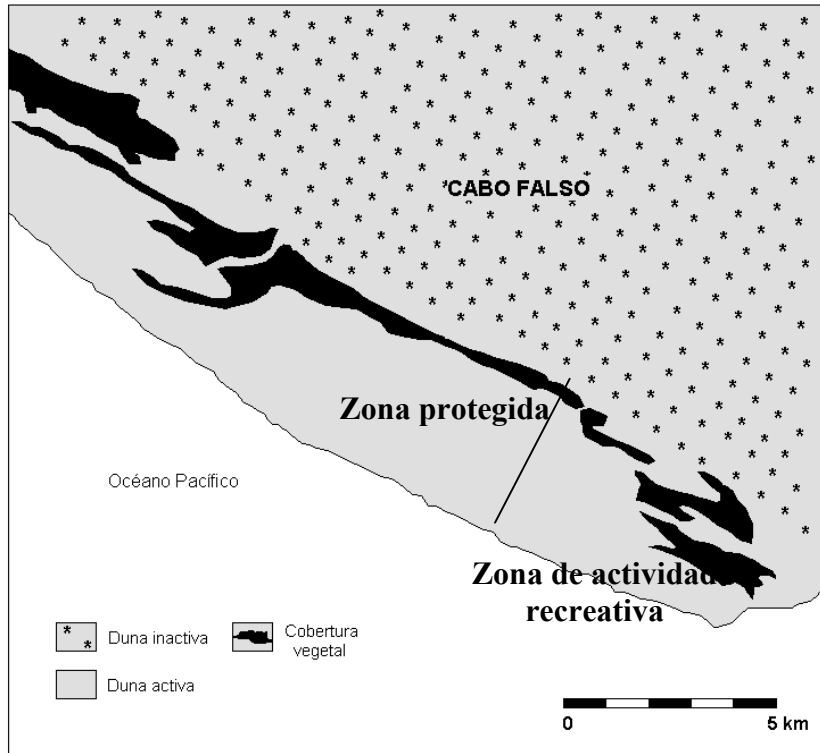


Figura 22. Distribución de la vegetación y posiciones de las dunas inactivas y activas en 1972 (INEGI, 1972)

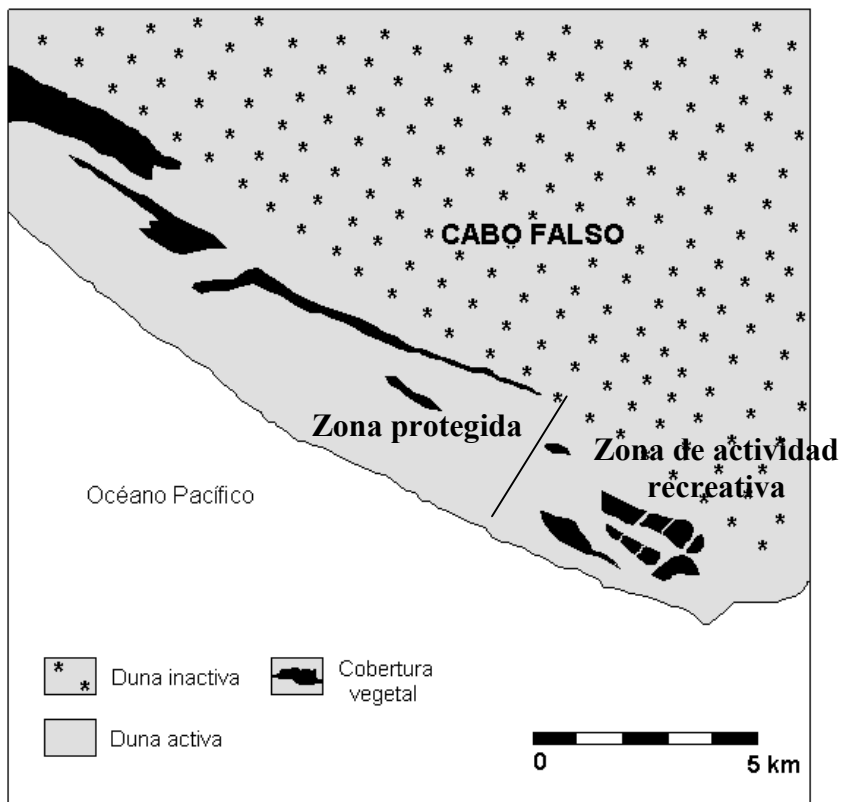


Figura 23. Distribución de la vegetación y posiciones de las dunas inactivas y activas en 1993 (INEGI, 1993)

Sin embargo, observamos también que tanto en la zona protegida como en la de actividad recreativa hay parches de vegetación nuevos. Esta presencia de parches, con respecto a la zona protegida, probablemente se han podido desarrollar debido a que la circulación de los vehículos de recreación en esta zona es inexistente. Y en el caso de los nuevos parches en la zona de actividad recreativa, probablemente estos se han desarrollado, debido a que específicamente por esta zona la circulación de cuatrimotos no es constante.

En el monitoreo que se llevó a cabo con las fotografías del cordón de duna localizado en la zona intermedia del campo de dunas (de la zona de actividad recreativa), también se observa que lo que está cambiando en el cordón es la presencia de vegetación. En la fotografía tomada en noviembre de 1999 se observan las huellas causadas por el paso de las cuatrimotos y una cobertura vegetal abundante (Figura 24). Sin embargo, poco más de un año después, la cobertura vegetal en la parte superior del cordón está casi ausente y los caminos en la parte inferior del cordón están más anchos (Figura 25). En la fotografía de junio del 2001 los parches de vegetación son más escasos, en comparación con la vegetación presente en la figura anterior (marzo 2001). A pesar de ser el inicio de la temporada de lluvias en la región, la cobertura vegetal no es abundante (Figura 26). En la última fotografía del monitoreo (abril del 2002) se observan huellas de las cuatrimotos en donde anteriormente existía vegetación (Figura 27). Estos cambios observados en la vegetación del cordón de duna de más de dos años, nos indican que la circulación de las cuatrimotos por la vegetación ha provocado una disminución en la cobertura vegetal de la duna y por consecuencia la morfología de la misma se está modificando.

En las Figuras 28 y 29 se presenta otro par de fotografías del mismo cordón de duna pero en otra zona de la extensión, durante noviembre del 2000 y febrero del 2001, en donde observamos en la foto de febrero del 2001 el mismo comportamiento que en las fotografías anteriormente descritas: una destrucción de la vegetación, En estas fotografías el proceso erosivo es tal, que la vegetación casi se ha extinguido, ya que es probable que el cordón de duna estaba totalmente cubierto por vegetación.

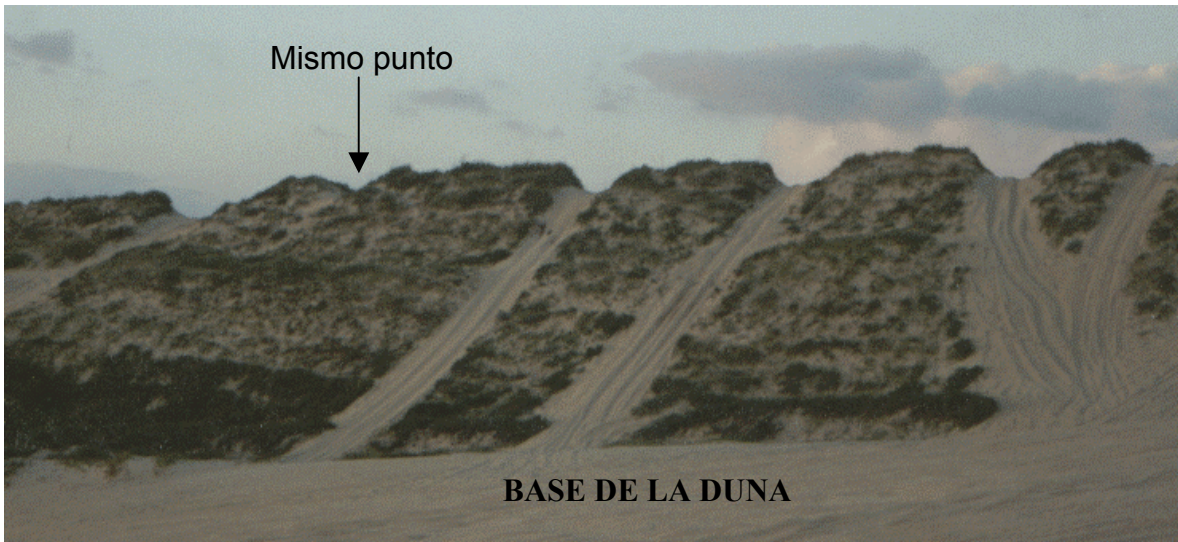


Figura 24. Cordón de duna paralelo a la línea de costa que muestra la distribución de la vegetación y las huellas del paso de las cuatrimotos en noviembre de 1999.

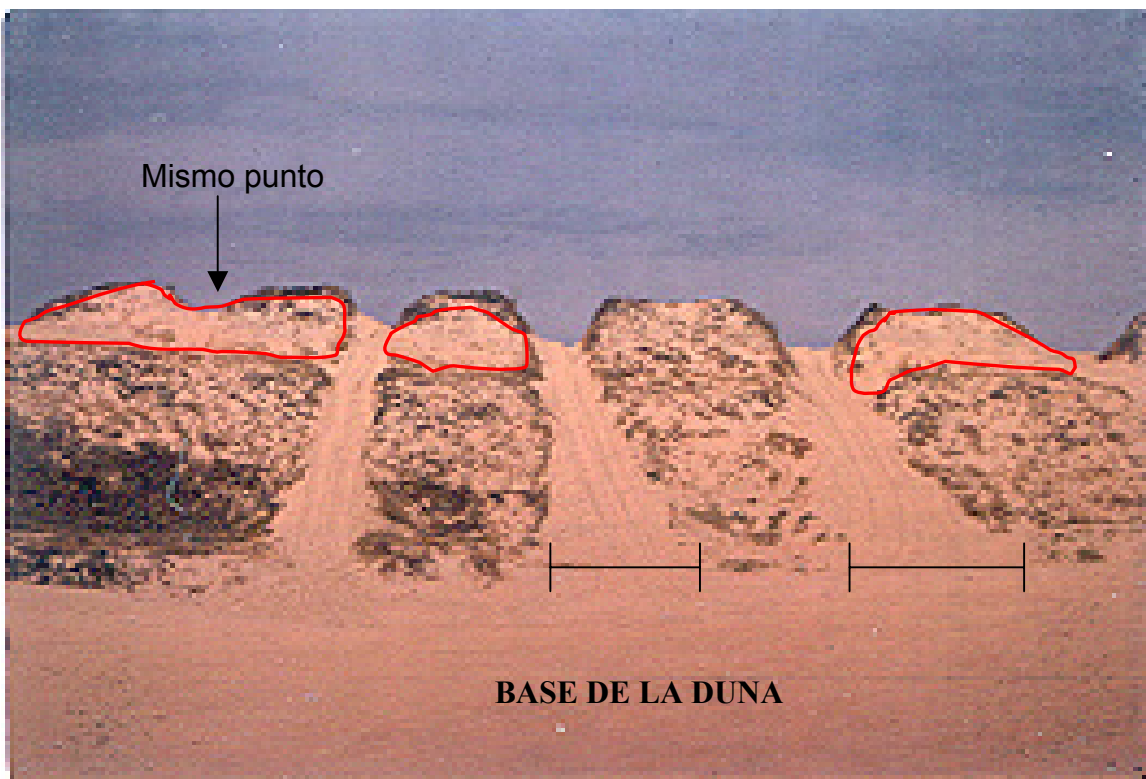


Figura 25. El mismo cordón de duna fotografiado en marzo del 2001, que ilustra un cambio notable en la destrucción de la vegetación y la erosión de la duna causada por el paso de las cuatrimotos.





Figura 26. El mismo cordón de duna fotografiado en junio del 2001, que ilustra un cambio notable en la destrucción de la vegetación y los caminos de la duna más anchos causado por el paso de las cuatrimotos.



Figura 27. El mismo cordón de duna fotografiado en abril del 2002, que ilustra parches de vegetación y caminos que no existían en fotografías anteriores, originados por el paso de las cuatrimotos.





Figura 28. Panorámica de una parte del cordón de duna, con una porción activa a la izquierda, y la otra porción derecha en proceso de destrucción erosiva por el paso de la cuatrimotos (Noviembre 2000).



Figura 29. Panorámica de la misma porción del cordón de duna que se muestra en la Figura 28 pero en febrero del 2001. Se aprecia un avanzado proceso de degradación de la vegetación.

### 4.1.3 Perfiles topográficos

#### 4.1.3.1 *Monitoreo del perfil 1; zona protegida*

En las Figuras 30 y 31 se muestran las sobreposiciones de los perfiles topográficos perpendiculares a la línea de costa para las estaciones de primavera, verano e invierno en la duna y playa respectivamente, y los cambios en el volumen de sedimento. En la Figura 30, los perfiles de la duna presentan un cambio estacional de aproximadamente medio metro en una superficie de 250 m de junio a diciembre, y en el periodo de diciembre a febrero esta variación es mínima, teniendo una morfología similar en el perfil de diciembre del 2001 con respecto al de febrero del 2002. En lo referente al cambio de volumen en esta misma zona, observamos en la gráfica del extremo superior izquierdo de la Figura 30, una acumulación de sedimento de aproximadamente  $0.91 \text{ m}^3/\text{día}$  y  $0.36 \text{ m}^3/\text{día}$  para el periodo junio-diciembre del 2001 y diciembre-febrero del 2002, respectivamente.

En la Figura 31 se presenta un cambio estacional considerable en los perfiles de playa, en donde encontramos una variación horizontal de aproximadamente 15 m durante el periodo marzo-junio, y una más marcada de 55 m durante el periodo junio-diciembre del 2001. En la gráfica del cambio de volumen de la misma figura, se presenta una pérdida de material de  $0.1 \text{ m}^3/\text{día}$  durante el periodo marzo-junio y una de  $0.7 \text{ m}^3/\text{día}$  durante el periodo junio-diciembre. Durante el periodo diciembre-febrero se presenta una acumulación de sedimento con una tasa de  $0.7 \text{ m}^3/\text{día}$ .

#### 4.1.3.2 *Monitoreo del perfil 2; zona de actividad recreativa*

En la Figura 32 se muestra la sobreposición de los perfiles topográficos monitoreados durante primavera, verano e invierno en el campo de duna de la zona de actividad recreativa. Estos perfiles presentan una variación vertical de entre 0.5 y 1 m durante el periodo verano-invierno, en la porción media superior de la duna. Esta erosión se observa en una superficie de aproximadamente 125 m. En la porción media de la duna, los perfiles se mantuvieron estables a lo largo del monitoreo. En esta misma figura, en la gráfica del extremo superior izquierdo, observamos una pérdida de volumen de  $0.49 \text{ m}^3/\text{día}$  y  $0.09 \text{ m}^3/\text{día}$  durante el periodo junio-diciembre del 2001 y diciembre-febrero del 2002, respectivamente.

**PERFIL DE DUNA 1**  
**ZONA PROTEGIDA**

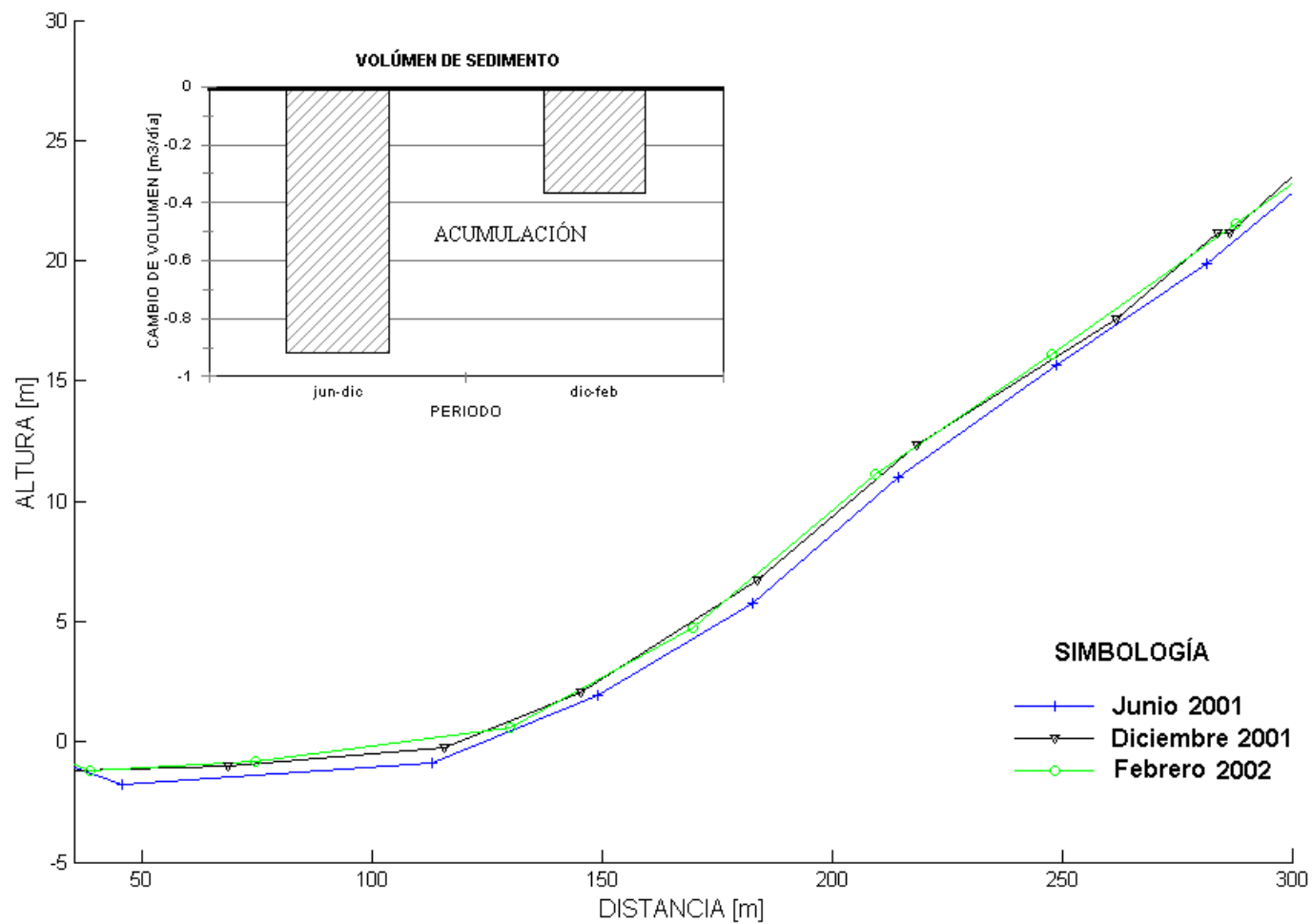


Figura 30. Perfiles topográficos de la duna (zona protegida) levantados en verano del 2001 e invierno del 2001-2002, y el cambio de volumen de sedimento expresado en  $m^3$  por día.

## PERFIL DE PLAYA 1 ZONA PROTEGIDA

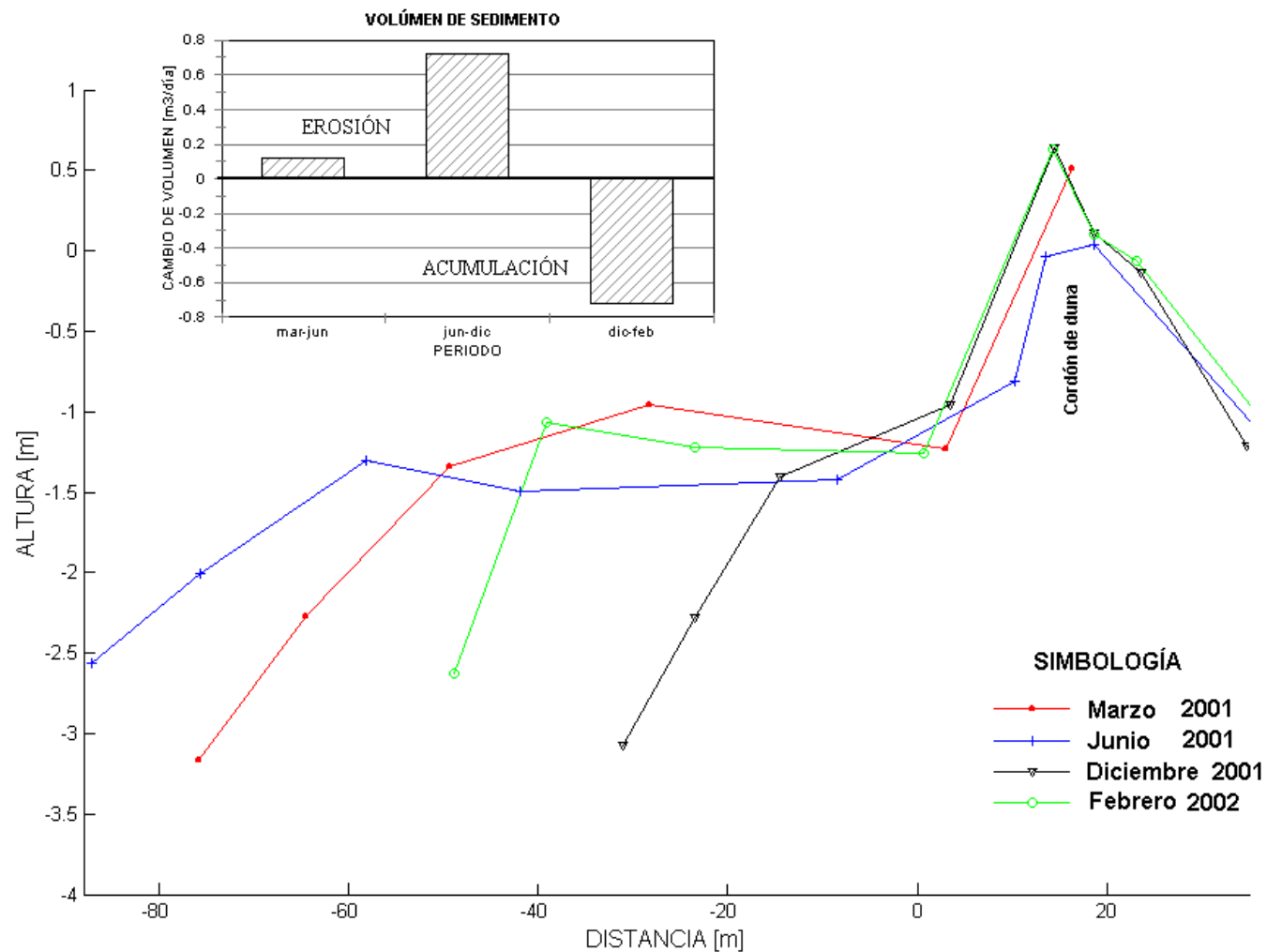


Figura 31. Perfiles topográficos de la playa (zona protegida) levantados en primavera, verano del 2001 e invierno del 2001-2002, y el cambio de volumen de sedimento expresado en m<sup>3</sup> por día.

En los perfiles de playa representados en la Figura 33, observamos una variación horizontal de 25 m durante el periodo marzo-junio, y una más marcada de 70 m durante el periodo junio-diciembre del 2001 y en el último periodo (diciembre-febrero), encontramos una diferencia de casi 20 m entre los perfiles. En lo referente a los cambios de volumen en los perfiles de playa de esta zona, encontramos que durante el periodo marzo-junio y diciembre-febrero hay una acumulación de arena de aproximadamente  $0.5 \text{ m}^3/\text{día}$  y  $0.4 \text{ m}^3/\text{día}$ , respectivamente. Durante el periodo junio-diciembre, encontramos un comportamiento similar al del perfil de playa anterior (perfil de playa 1), con una erosión de material de  $0.9 \text{ m}^3/\text{día}$ .

#### 4.1.3.3 *Monitoreo del perfil 3; zona de actividad recreativa*

En la Figura 34 se observa que la morfodinámica estacional de los perfiles realizados en esta zona revela que existen cambios significativos en la parte superior de la duna, encontrando una diferencia vertical de aproximadamente 2 m durante el periodo diciembre-febrero, en una superficie de más de 100 m. La porción media de la duna permaneció estable, al igual que en el perfil de duna 2. Con respecto a las variaciones en el volumen de sedimento de la duna, observamos en la gráfica de la misma figura una pérdida de material tanto para el periodo junio-diciembre como para el periodo diciembre-febrero, con un cambio de volumen de  $0.31 \text{ m}^3/\text{día}$  y  $1.08 \text{ m}^3/\text{día}$ , respectivamente.

El perfil de playa muestra que de junio a diciembre se presenta un perfil erosionado, con una variación horizontal de aproximadamente 25 m (Figura 35). En el último perfil levantado (febrero 2002), se comienza a observar una recuperación de 10 m con respecto al perfil anterior (diciembre 2001), aunque continúa presentándose un perfil erosionado en comparación con el perfil de verano. En la gráfica de cambio de volumen encontramos, al igual que en los perfiles de playa anteriores, que durante el periodo junio-diciembre se presenta una pérdida de sedimento de  $0.4 \text{ m}^3/\text{día}$  y una ganancia de  $0.5 \text{ m}^3/\text{día}$  durante el periodo diciembre-febrero.

**PERFIL DE DUNA 2**  
**ZONA DE ACTIVIDAD RECREATIVA**

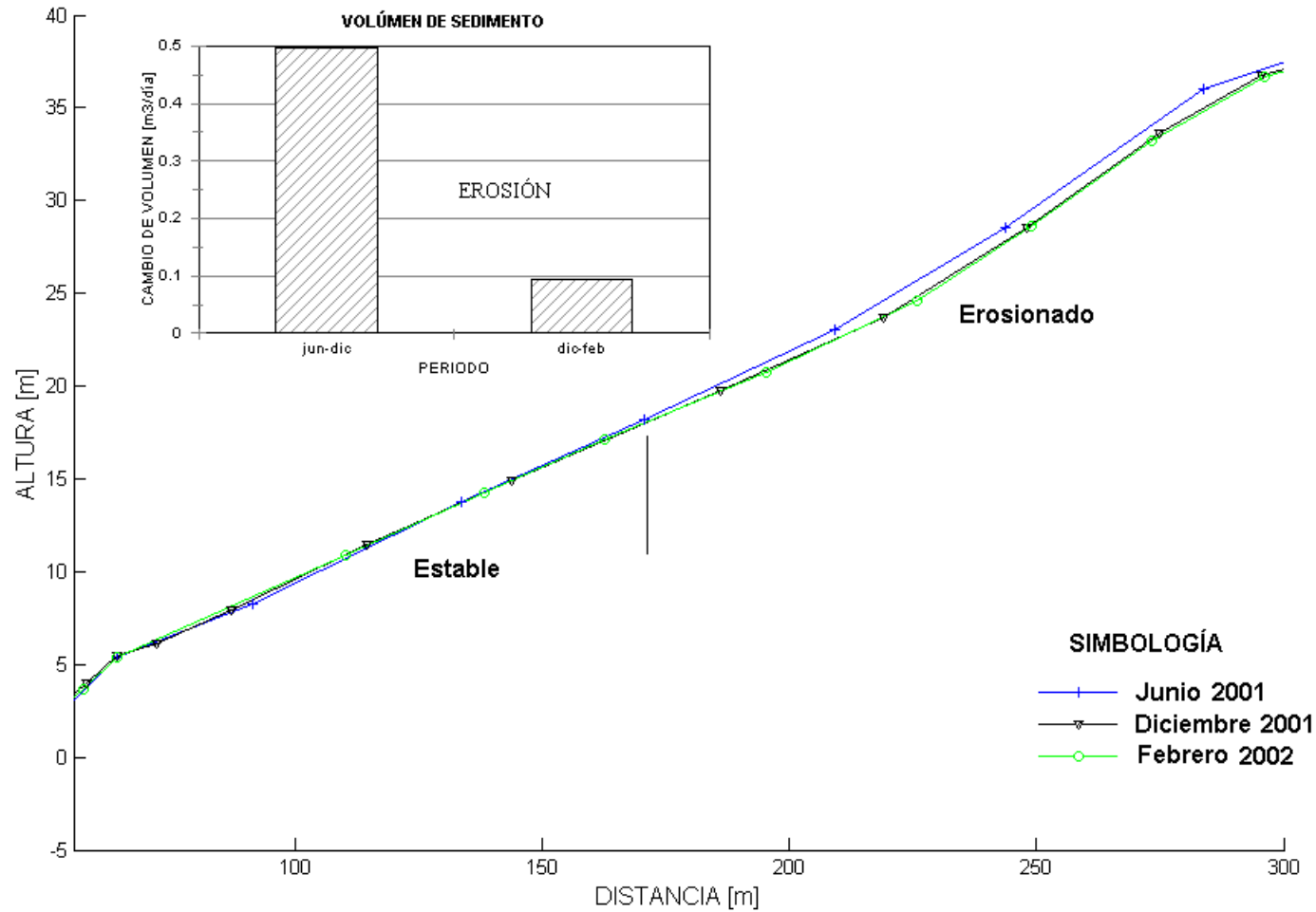


Figura 32. Perfiles topográficos de la duna (zona de actividad recreativa) levantados en verano del 2001 e invierno del 2001-2002, y el cambio de volumen de sedimento expresado en m<sup>3</sup> por día.

**PERFIL DE PLAYA 2**  
ZONA DE ACTIVIDAD RECREATIVA

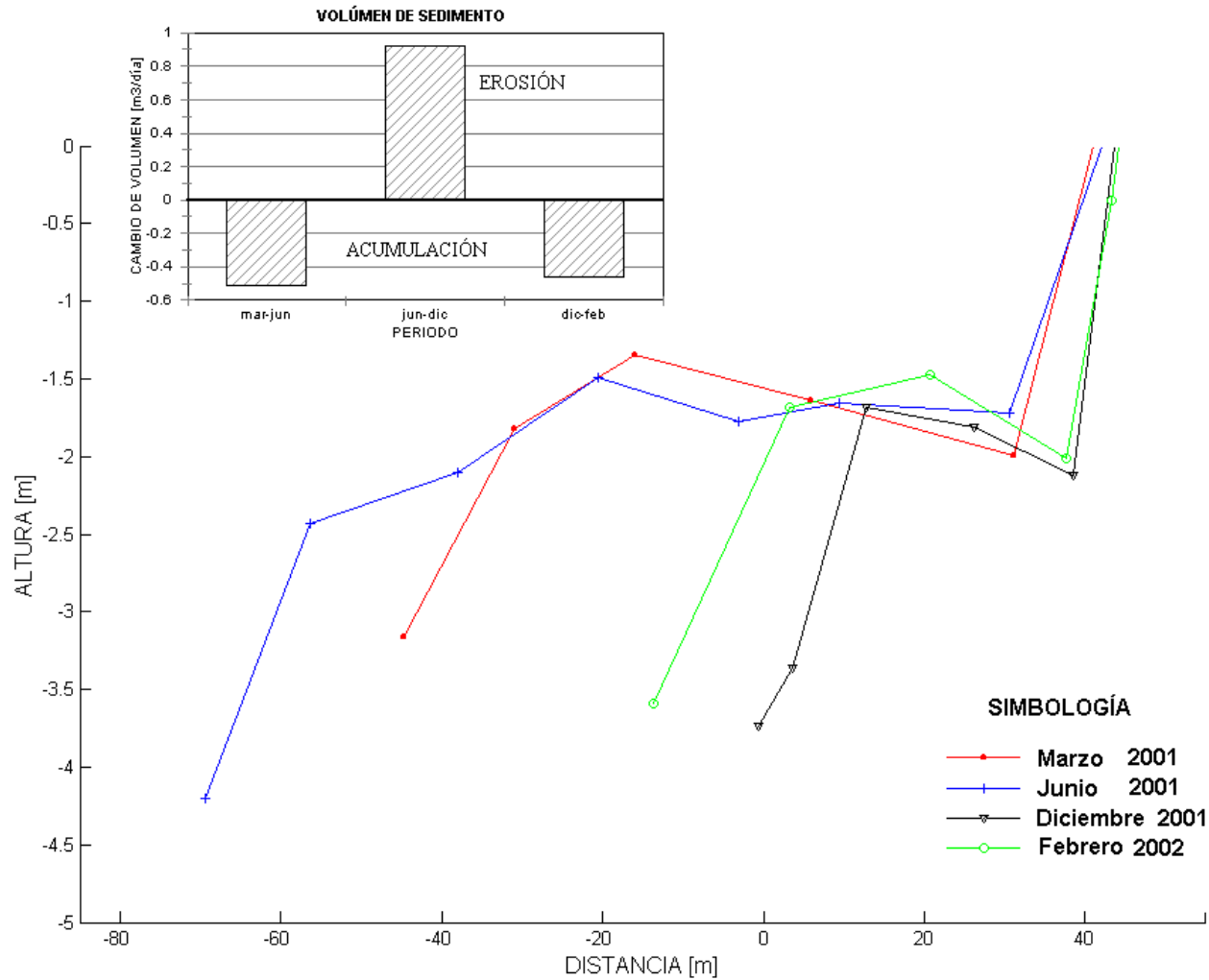


Figura 33. Perfiles topográficos de la playa (zona de actividad recreativa) levantados en primavera, verano del 2001 e invierno del 2001-2002, y el cambio de volumen de sedimento expresado en m<sup>3</sup> por día.



**PERFIL DE DUNA 3**  
ZONA DE ACTIVIDAD RECREATIVA

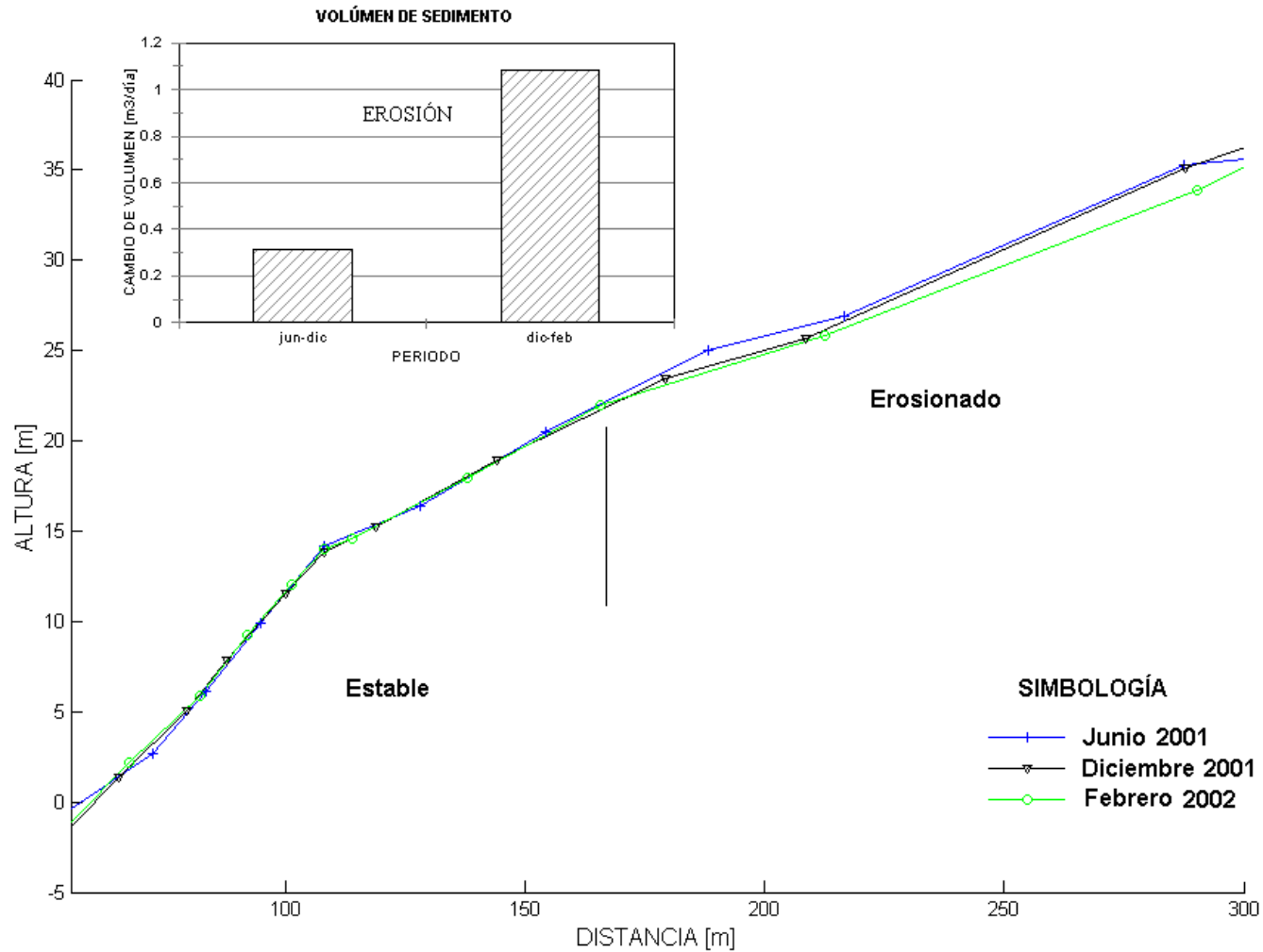


Figura 34. Perfiles topográficos de la duna (zona de actividad recreativa) levantados en verano del 2001 e invierno del 2001-2002, y el cambio de volumen de sedimento expresado en m<sup>3</sup> por día.

**PERFIL DE PLAYA 3**  
ZONA DE ACTIVIDAD RECREATIVA

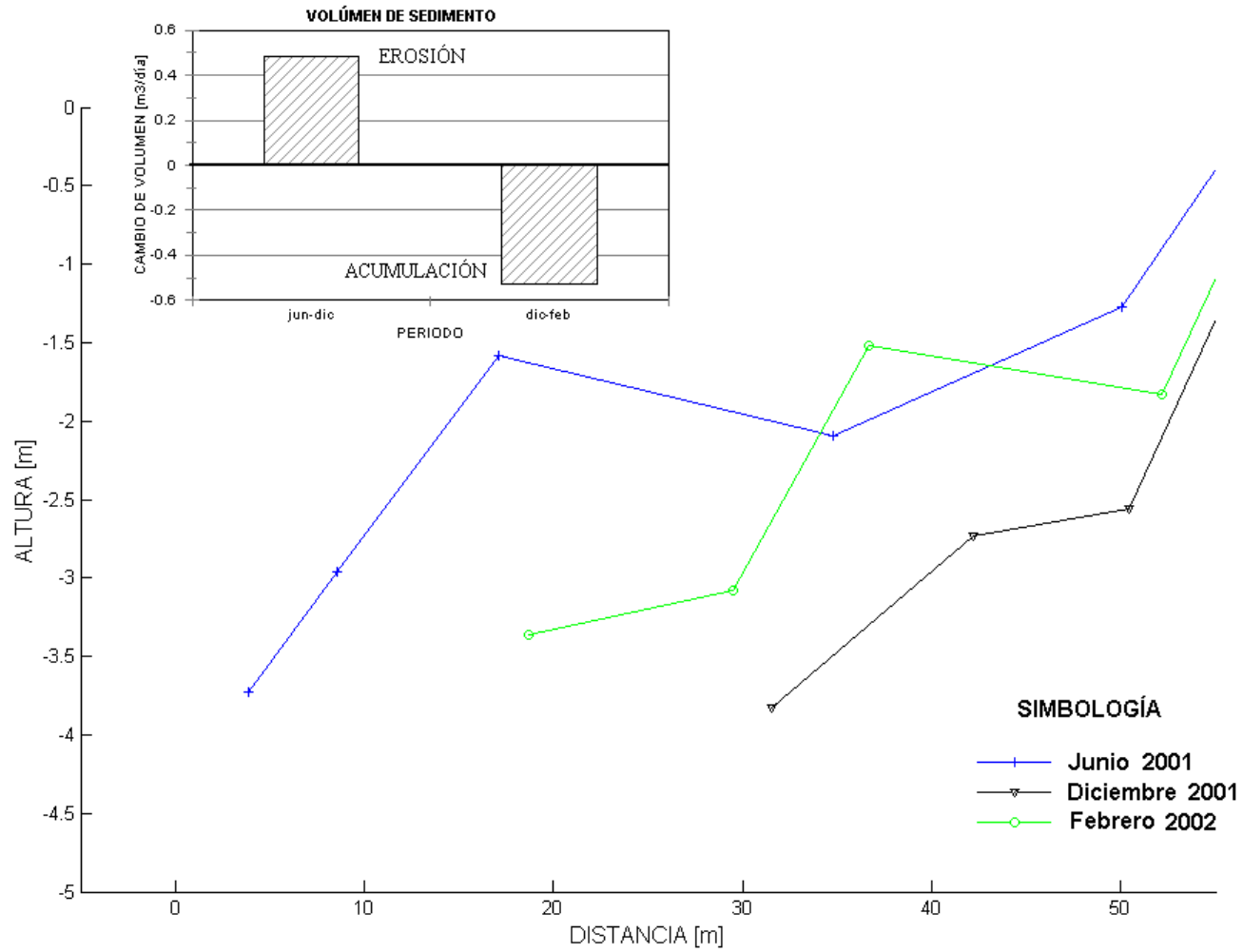


Figura 35. Perfiles topográficos de la playa (zona de actividad recreativa) levantados en verano del 2001 e invierno del 2001-2002, y el cambio de volumen de sedimento expresado en m<sup>3</sup> por día.

#### 4.1.3.4 Acumulación y erosión de arena

De acuerdo con los resultados obtenidos con respecto a los perfiles topográficos levantados perpendicularmente a la costa, encontramos que en los perfiles de duna de la zona de actividad recreativa, la pérdida en el volumen de sedimento se presentó en ambos periodos del monitoreo (junio-diciembre y diciembre-febrero, Figura 36). En cambio, en el perfil de la zona protegida, encontramos que tanto para el periodo junio-diciembre como para el de diciembre-febrero, hubo una acumulación de sedimento. En los perfiles de playa encontramos que durante el periodo junio-diciembre se presenta una pérdida de volumen de sedimento en todos los perfiles monitoreados, siendo más marcada en el perfil 2 (localizado en la zona de actividad recreativa), y durante el periodo diciembre-febrero encontramos una acumulación, siendo ésta más marcada en el perfil de playa levantado en la zona protegida (perfil 1).

Este cambio en el volumen de sedimento presente en la zona de actividad recreativa tanto en los perfiles de duna como en los de playa posiblemente estuvo influido, porque durante el periodo junio-diciembre, a finales de septiembre pasó el huracán *Juliette* muy cerca del área de estudio, y muy probablemente las condiciones de viento y oleaje que trae consigo este tipo de eventos, hayan provocado o acrecentado ésta pérdida de material sedimentario en el sistema playa-duna de Cabo Falso. Sin embargo, en los perfiles de playa de esta misma zona, durante el periodo diciembre-febrero, observamos que la playa se comienza a recuperar de manera natural de la erosión provocada por el paso del huracán, encontrando una acumulación. Esta recuperación natural, no sucede en los perfiles de duna, ya que en éstos se continúa presentando una pérdida en el volumen de sedimento.

Es importante mencionar que la pérdida en el volumen de sedimento del perfil de duna 2 y 3 nos indica, que en esta zona de actividad recreativa no solo influyó el huracán para que se perdiera sedimento durante este periodo, sino que muy probablemente junto con las condiciones meteorológicas del huracán, la circulación de las cuatrimotos a lo largo de este periodo (junio-diciembre) también actuó como un factor importante para que el volumen de sedimento disminuyera.

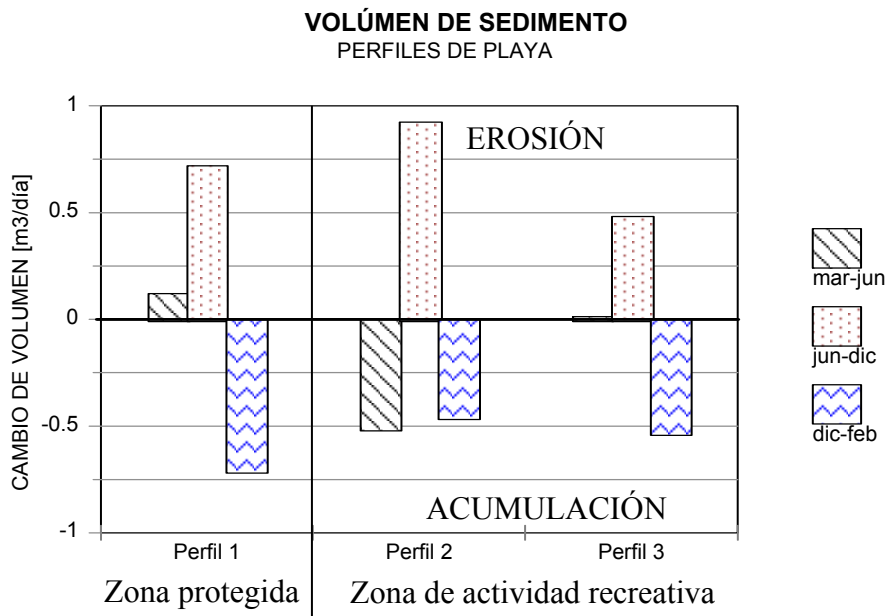
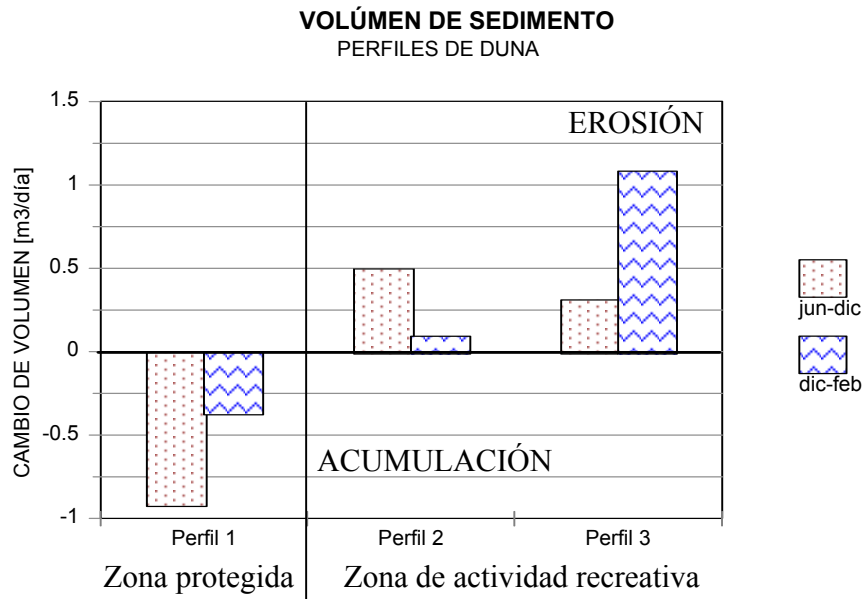


Figura 36. Volúmenes de sedimento expresados en m<sup>3</sup>/día, medidos a partir de los perfiles de duna y playa.

#### 4.1.4 Morfodinámica de la playa y duna frontal

Mediante fotografías tomadas en la playa de Cabo Falso en junio, octubre, noviembre y diciembre del 2001, se observa que el paso del huracán *Juliette* a finales de septiembre ocasionó cambios significativos en la morfología de la playa. En el perfil de la post-playa y duna frontal de junio, se puede observar que la pendiente del frente de la

duna es bastante suave (Figura 37a), mostrando una post-playa ancha. Sin embargo, para octubre la morfología cambia drásticamente, presentando un escarpe de erosión en la base de la duna frontal. Este cambio en la morfología probablemente se debió al efecto del paso del huracán *Juliette*, que se presentó a finales de septiembre en la zona estudiada (la Figura 37b muestra lo anterior). Así mismo fue notoria la disminución del ancho de la post-playa en comparación con la de junio. El desarrollo del escarpe se atribuye a la acción del oleaje sobre la superficie de la post-playa (Figura 37b), en combinación con la influencia del viento sobre la duna.

En la fotografía tomada en noviembre del mismo año (Figura 37c), se observa que el escarpe de erosión de octubre está suavizado, lo cual nos indica que el material de la duna frontal está depositándose por gravedad en la base de la misma, suavizando así la forma del escarpe, y colaborando a que la playa se recupere de manera natural. En la última fotografía (Figura 37d), tomada en diciembre del 2001 se puede notar que a pesar de ser invierno, temporada en la que comúnmente se presentan rasgos de erosión en las playas y dunas provocada por la alta energía de oleaje, el escarpe de erosión presente en las fotografías ha disminuido significativamente. Sin embargo, la pendiente continua siendo fuerte en la posición del escarpe, lo cual es aún un rasgo anómalo con respecto al perfil que se observa en la Figura 37a.

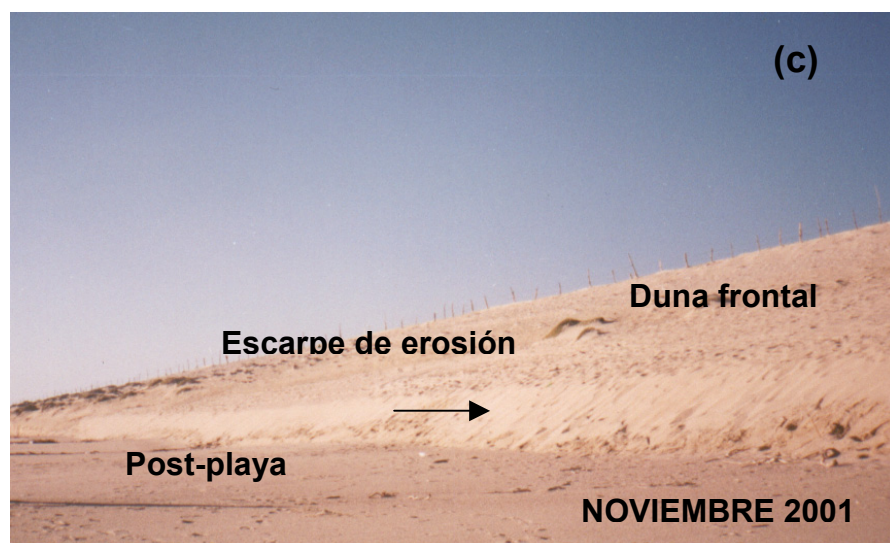
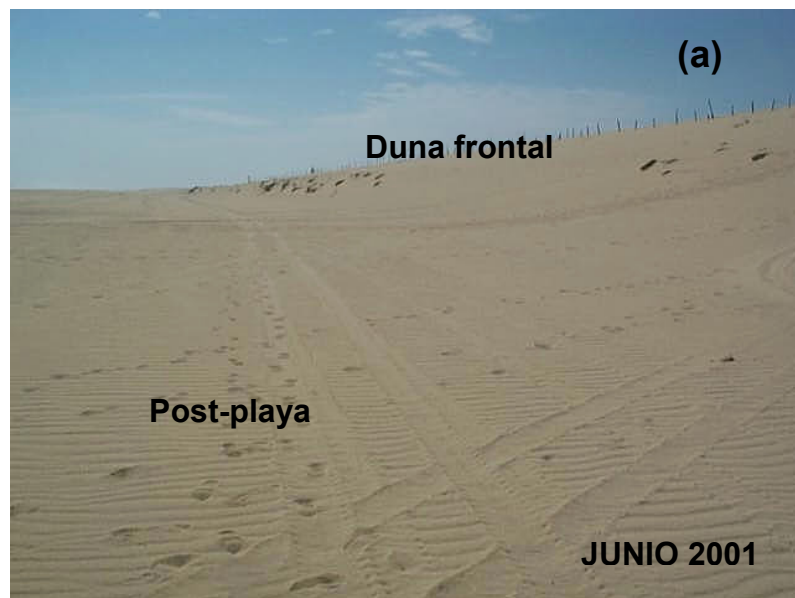


Figura 37. Fotografía de la post-playa y la duna frontal de Cabo Falso en junio 2001 (a); escarpe de erosión producido por el Huracán *Juliette*, en la duna frontal en octubre 2001 (b); fotografía de la duna frontal y post-playa en noviembre 2001 (c); duna frontal y post-playa recuperándose de la acción del huracán en diciembre del 2001 (d).

## 4.2 Meteorología

El diagrama de rosas del viento nos muestra las direcciones del viento (Figura 38) en intervalos de 10° para la zona de Cabo Falso durante el periodo junio-septiembre del 2001. El diagrama nos muestra que el 77.6% de las observaciones nos indican vientos que soplan del noroeste paralelos a la línea de costa. En el histograma de la velocidad del viento podemos observar que, de acuerdo a la velocidad mínima que se requiere para que se inicie movimiento de arena en las dunas (4.5 m/s, Bagnold, 1941), el 67 % de las observaciones nos indican que hubo movimiento de sedimento.

Con respecto a los promedios calculados, en junio encontramos una velocidad promedio de 6.1 m/s con una dirección del viento de 309°, indicándonos este último valor una dirección proveniente del noroeste (Tabla 2). La temperatura promedio para este mes fue de 22°C, con 79 % de humedad. En julio los promedios obtenidos nos muestran una velocidad promedio de 5.8 m/s con una dirección del viento de 308° (Tabla 2). La temperatura y el porcentaje de humedad promedio durante este mes aumentó en comparación con la temperatura promedio de junio, encontrando un valor de 25°C con una humedad de 88 %. Este aumento en la temperatura y humedad está relacionada muy probablemente al inicio de la temporada de verano. En agosto encontramos un promedio en la velocidad de 5.5 m/s, con una dirección promedio de 311°, y observamos un aumento en la temperatura de más de 1°C con respecto al promedio de temperatura de julio con una humedad promedio de 94 %. Durante septiembre, a partir del día 27, no se pudo continuar con el registro, ya que el huracán *Juliette* afectó a ña zona a partir de esa fecha ocasionando daños severos a las estación meteorológica. Sin embargo, encontramos un promedio en la velocidad de 6.1 m/s con una dirección de 323°. Y con respecto a la temperatura y a la humedad, encontramos un promedio de 26°C y 99 %, respectivamente. Este valor promedio en la humedad aumentó con respecto al de los meses anteriores, probablemente influida por la humedad que típicamente traen consigo los huracanes.

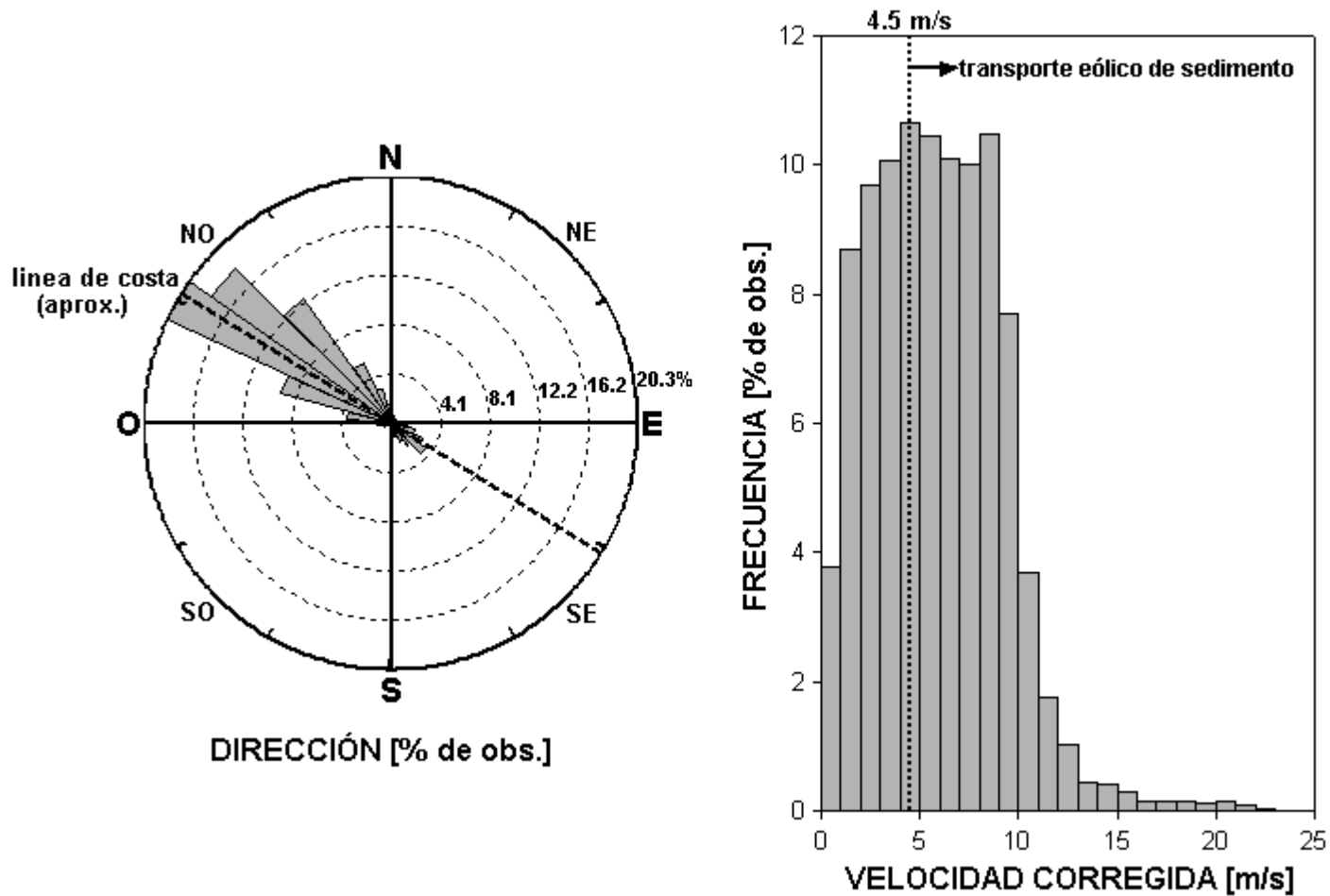


Figura 38. Diagrama de rosa del viento e histograma de la velocidad corregida por el efecto de la fricción de la atmósfera con la superficie terrestre para Cabo Falso, basada en los datos del 6 de junio al 27 de septiembre del 2001.



Tabla 2 Promedios mensuales de las series de tiempo de cada uno de los parámetros medidos por la estación meteorológica.

<b>MES</b>	<b>HUMEDAD [%]</b>	<b>TEMPERATURA [° C]</b>	<b>RADIACIÓN [W/m<sup>2</sup>]</b>	<b>PRESIÓN BAROMÉTRICA [mb]</b>	<b>DIRECCIÓN [°]</b>	<b>VELOCIDAD CORREGIDA [m/s]</b>
JUN (6 al 30)	79.53	22.43	272.67	988.74	309.36	6.1
JUL (1 al 31)	87.77	25.14	268.03	988.42	308.43	5.8
AGO (1 al 31)	93.89	26.54	249.60	987.96	311.21	5.5
SEP (1 al 27)	99.47	26.43	198.18	985.67	323.54	6.1

## 4.3 Granulometría

### 4.3.1 Arroyos

#### 4.3.1.1 *Introducción*

Las principales fuentes de aporte de sedimento al sistema costero lo constituyen las sierras que bordean la cuenca hidrológica, las cuales están compuestas principalmente por rocas graníticas. El único factor que determina la descarga fluvial, en el área de estudio, es la presencia de los ciclones tropicales, los cuales producen precipitaciones importantes que generan las corrientes fluviales. Estas corrientes son el principal agente de transporte del sedimento terrígeno y debido a su gran energía pueden transportar sedimento de todos los tamaños en grandes cantidades. Una de las principales fuentes de sedimento es el arroyo “El Migriño”, que a pesar de pertenecer a una cuenca pequeña, en épocas de tormenta o huracanes, como el *Juliette*, transporta grandes cantidades de material sedimentario hacia la costa, y muy probablemente este sedimento, por el efecto de las corrientes litorales alcance a la playa de Cabo Falso. Además de este arroyo, cerca del área de estudio existe el arroyo “El Prieto”, el cual también transporta sedimento hacia la zona litoral. Sin embargo, al curso de este arroyo se interpone el desarrollo de cordones de duna, que temporalmente represan el agua y bloquean el paso de sedimento hacia el mar (Figura 39).

#### 4.3.1.2 *Distribución del tamaño de sedimento*

Los histogramas de frecuencia para las muestras de arroyo presentan una ligera bimodalidad, a excepción de las muestras 645a y 646a, las cuales presentan una distribución que tiende a la normalidad (Apéndice 4). La muestra 299a (arroyo “El Migriño”), presenta una distribución unimodal, con preferencia a las arenas gruesas, encontrando un pico en el tamaño phi de -0.50 (Apéndice 4). Sin embargo, los tamaños de esta muestra presentan una distribución bastante amplia, abarcando desde los tamaños gruesos hasta las arenas muy finas. Este mismo comportamiento se presenta en todas las muestras de la parte sur de la península de Baja California.

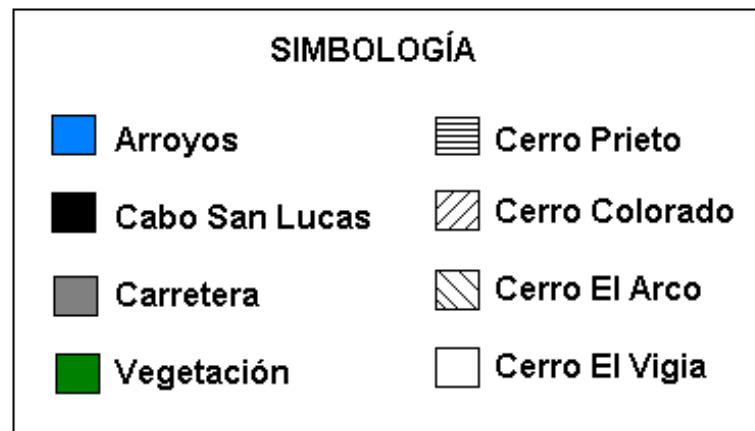
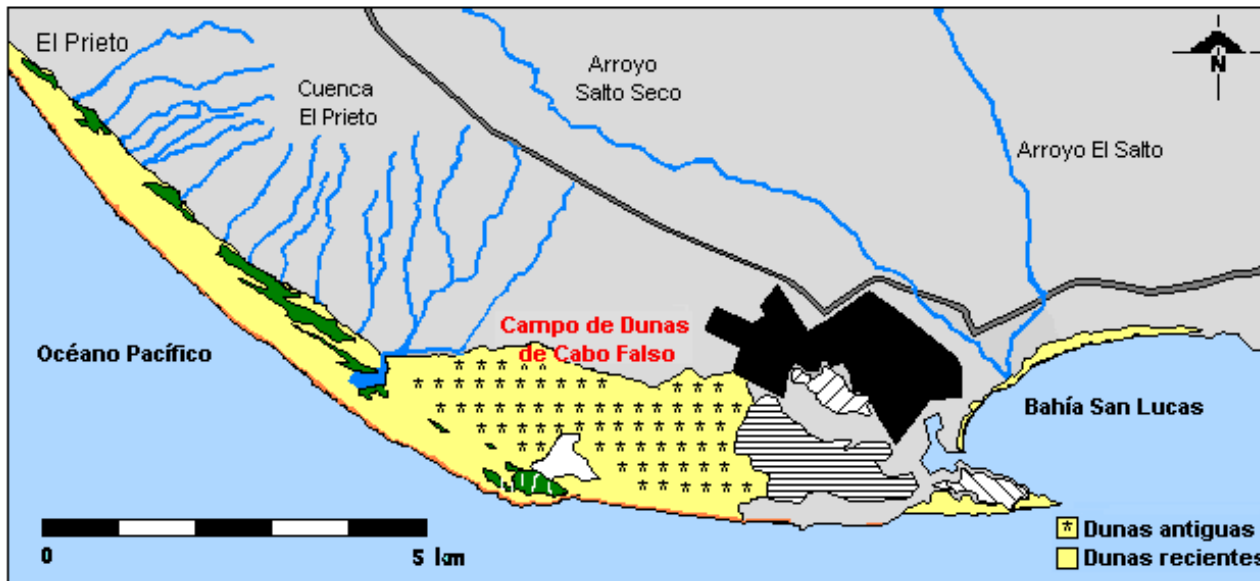


Figura 39. Geomorfología de la región de Cabo Falso (modificado de INEGI; 1993).

#### 4.3.1.3 *La media del sedimento*

En los arroyos que se muestrearon, se encontró una media que va de  $-0.73 \text{ } \emptyset$  a  $0.49 \text{ } \emptyset$ . Estos valores corresponden a un rango de tamaños de arenas muy gruesas a gruesas (Tabla 3). Las muestras con una media que representa arenas muy gruesas son la 644a, 647a, 301a, 304a, 305a, 307a y 308<sup>a</sup>, las cuales se distribuyen en las cuencas al norte de Cabo Falso.

En la Figura 40, en la gráfica de la media, encontramos en la muestra más cercana al área de estudio (642a), una media de  $0.07 \text{ } \emptyset$ , indicándonos predominancia de arenas gruesas. En la muestra más lejana al área (308a) se encontró una media de  $-0.58 \text{ } \emptyset$ , revelándonos un tamaño de arenas muy gruesas. Por lo tanto podemos decir que los arroyos aledaños al área de estudio están aportando principalmente material grueso. Sin embargo, estos arroyos, principalmente "El Migriño", contienen a su vez sedimento fino, el cual una vez que llega a la playa está sujeto a erosión disminuyendo así su tamaño.

#### 4.3.1.4 *La desviación estándar del sedimento*

En un análisis textural los valores de desviación estándar son interpretados como grado de clasificación del material sedimentario. La clasificación para los arroyos no presenta una variación marcada. En la Tabla 3 se muestra un rango de valores en la desviación estándar que van desde  $1.02$  a  $1.44 \text{ } \emptyset$ , los cuales corresponden a muestras pobremente seleccionadas.

Por sus valores de desviación estándar, las muestras 645a y 646a revelan una tendencia a ser muestras con una mejor selección (Figura 40), al igual que la del arroyo "El Migriño" (299a). Sin embargo, tanto las muestras más cercanas al área, como las del norte, presentan una pobre selección. Esto nos indica un comportamiento típico en muestras de arroyo, las cuales por contener una variedad de tamaños, da como resultado una pobre selección (PS).

#### 4.3.1.5 El sesgo del sedimento

El sesgo de los arroyos muestreados tiende a ser positivo. En la Tabla 3 se puede observar como la gran mayoría de las muestras están fuertemente sesgadas hacia los finos. Esta distribución probablemente se deba a que hacia las partes bajas de los arroyos, que fue en donde se colectaron las muestras, la erosión esté provocando un transporte de sedimento fino, lo cual coincide con el sesgo hacia los finos y con la distribución de tamaño que presenta en todas las muestras. Sin embargo, en la muestra 300a y 303a, aunque se continua conservando la preferencia hacia los finos, el valor numérico se reduce, indicándonos un sesgo hacia los finos, pero con una tendencia más acentuada a una distribución simétrica (Figura 40).

Tabla 3. Parámetros texturales del sedimento de los arroyos aledaños a Cabo Falso

MUESTRA	MEDIA (Ø)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Ø)	SESGO
642a	0.07/AG	1.44/PS	0.61/FSF
644a	-0.48/AMG	1.02/PS	0.53/FSF
645a	0.06/AG	1.10/PS	0.72/FSF
646a	0.21/AG	1.36/PS	0.50/FSF
647a	-0.15/AMG	1.35/PS	0.36/FSF
299a	0.47/AG	1.12/PS	0.31/FSF
300a	0.32/AG	1.19/PS	0.12/SF
301a	-0.18/AMG	1.28/PS	0.42/FSF
302a	0.14/AG	1.35/PS	0.42/FSF
303a	0.49/AG	1.29/PS	0.18/SF
304a	-0.08/AMG	1.31/PS	0.60/FSF
305a	-0.14/AMG	1.16/PS	0.60/FSF
306a	0.11/AG	1.14/PS	0.39/FSF
307a	-0.73/AMG	1.31/PS	1.22/FSF
308a	-0.58/AMG	1.21/PS	0.94/FSF

AG, arena gruesa; AMG, arena muy gruesa; AM, arena media.

BS, bien seleccionada; MBS, moderadamente bien seleccionada; MS, moderadamente seleccionada; PS, pobremente seleccionada.

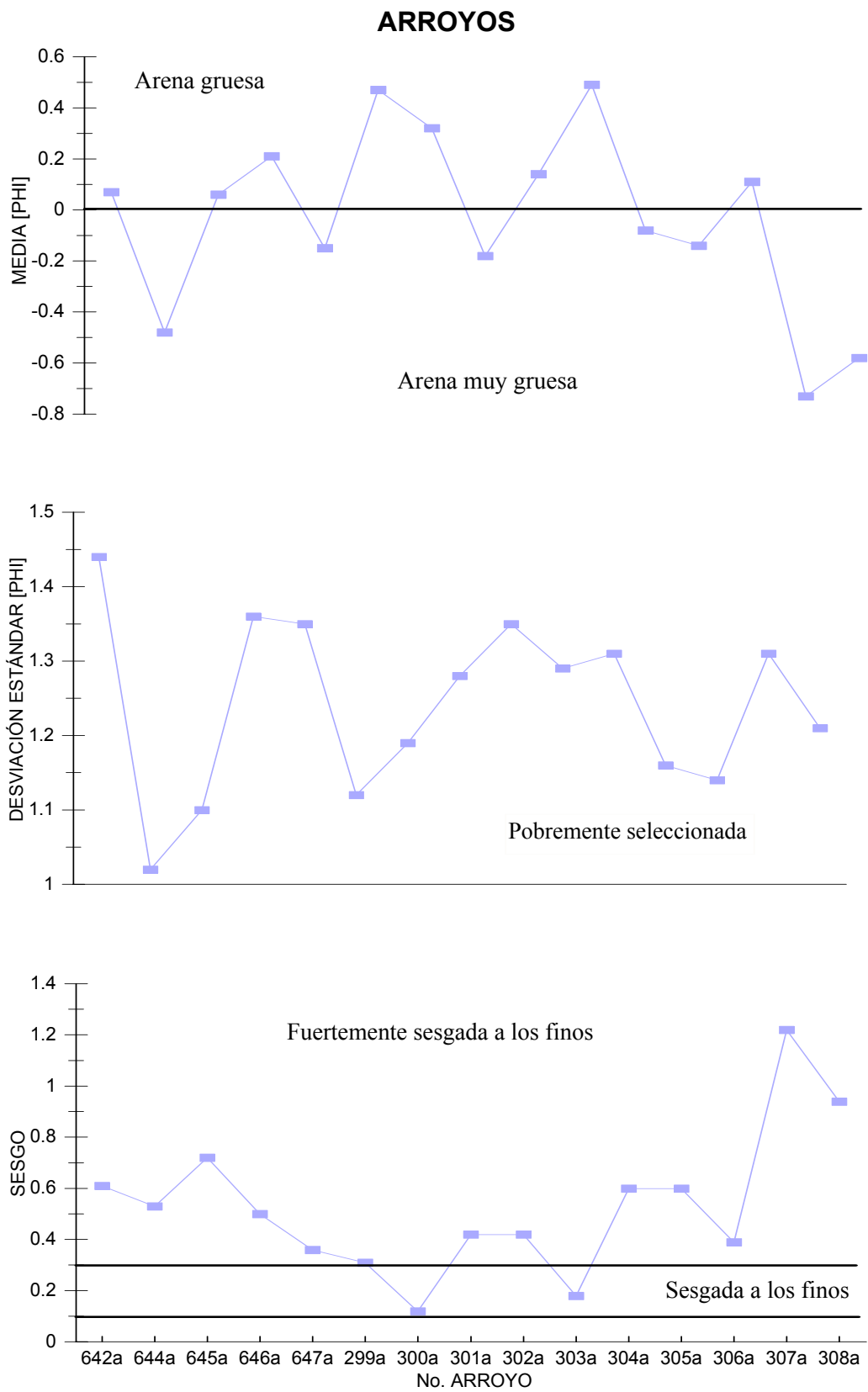


Figura 40. Parámetros de distribución del tamaño de grano en los arroyos.

## 4.3.2 Playa

### 4.3.2.1 *Introducción*

Los factores físicos que contribuyen a modificar la zona costera son principalmente el oleaje, las mareas, las corrientes litorales, el viento y el tipo de material que la constituye. Las playas se componen de materiales de diferentes orígenes, de los cuales los más importantes son: sedimentos provenientes de la abrasión costera, sedimentos aportados por los arroyos que desembocan en la zona litoral, y materiales provenientes de la destrucción de arrecifes coralinos. La granulometría de los materiales de las playas es variable y abarca desde cantos hasta arenas finas. El diámetro de esos materiales dependerá principalmente del grado de protección con que cuente la playa y el tamaño de material que llegue a ella. En general las playas expuestas se componen de arenas, guijarros o cantos, mientras que en las playas protegidas, donde la energía de las corrientes y el oleaje son menores, se componen de arenas finas. El color y la mineralogía dependen de la fuente de origen: las arenas que provienen de rocas volcánicas, son grises o negras, mientras que las arenas ricas en cuarzo o fragmentos de conchas son blancas (Seco, 1994).

### 4.3.2.2 *Distribución del tamaño de sedimento*

Las distribuciones de frecuencia del tamaño de grano estacional en la playa son principalmente unimodales (Apéndice 1). Para noviembre del 2001, en las muestras del perfil 1 y 2 tomadas en la berma, se encontró una ligera bimodalidad con una subpoblación a los tamaños gruesos. En las muestras de febrero se presenta el mismo comportamiento, encontrando nuevamente una bimodalidad en las muestras de berma del perfil 1 y 2. Esta distribución de frecuencia probablemente está relacionada a la energía del viento, y por consecuencia, la del oleaje es mayor para la temporada de invierno, la cual coincide con la época en que se colectaron estas muestras. En las muestras de la zona intermareal, las distribuciones de tamaño son en su mayoría unimodales. Únicamente, en la muestra del perfil 1 colectada en junio del 2001 se presenta una distribución de frecuencia bimodal, presentando una subpoblación con una tendencia hacia los gruesos (Apéndice 1).

#### 4.3.2.3 *La media del sedimento*

De acuerdo a los rangos propuestos por Folk (1966), la media del tamaño de grano para las muestras de playa (berma y zona intermareal), cae entre arenas medias y arenas gruesas. De las muestras de berma el tamaño medio predominante es de arenas gruesas. Únicamente en las muestras colectadas en marzo del 2001 (en el perfil 1 y 3), encontramos un tamaño medio del sedimento de arenas medias. En la muestra del perfil 1 para noviembre del 2001, la media cae en arenas muy gruesas. Con respecto a las muestras de la zona intermareal, presentan una media en donde predominan las arenas gruesas. Únicamente en una de las muestras de marzo del 2001 y febrero de 2002, el tamaño medio de sedimento cae en arenas medias (Tabla 4).

En las muestras de marzo del 2001, colectadas en la berma, y en una de la zona intermareal, encontramos arenas medias. Este tipo de sedimento parece estar relacionado a que, durante invierno cuando la playa se encuentra en proceso de erosión, al mismo tiempo la base de la duna frontal, que contiene arenas medias, se está erosionando, aportando arena media a la playa. También a que las muestras de berma están influenciadas por el transporte de la zona intermareal y el transporte eólico, lo que explica la presencia de arena media. En las muestras restantes tanto de la berma como las de la zona intermareal encontramos arenas gruesas. Este tipo de sedimento está relacionado a la energía del oleaje presente en la playa, el cual es el principal factor que determina el tamaño de grano. Para esta zona el oleaje es considerado de alta energía (Tabla 4).

En la gráfica de media de la Figura 41 (berma), se observa una tendencia numéricamente similar en las muestras de los perfiles 2 y 3, permaneciendo a lo largo del año de monitoreo en un rango de tamaño entre 0.36 y 1.10 phi, indicándonos un tamaño de arenas gruesas tendiendo en una de las muestras a arenas medias. Contrario a lo mencionado, en las muestras del perfil 1, observamos una distribución a lo largo de un año bastante irregular, encontrando valores de  $-0.01$  en febrero del 2002 y de 1.28 durante marzo del 2001, mostrándonos un tamaño que va desde arena muy gruesa a arenas medias, revelando que a partir de la muestra de marzo del 2001 el sedimento aumenta en su tamaño, teniendo el sedimento más grueso en la última muestra de febrero del 2002. Esta diferenciación en la distribución de tamaños medios, entre las muestras de playa de los perfiles 2 y 3 con las muestras del perfil 1, probablemente se



deba a que la playa del perfil 1 está siendo influida principalmente por agentes naturales, como el viento y oleaje; y los otros dos perfiles están siendo influidos también por agentes naturales, pero además por agentes antropogénicos que están afectando la duna y por consecuencia a la playa.

Con respecto al comportamiento del tamaño medio de grano en la zona intermareal, a diferencia de las muestras de berma, en este caso no se presenta una tendencia bien definida (Figura 42). El tamaño predominante, tanto en las muestras del perfil 1 como en las del perfil 2 y 3 es de arenas gruesas. Sin embargo, en una de las muestras de marzo (perfil 2) y en otra de febrero (perfil 3), el tamaño es de arenas medias, probablemente influenciado este tamaño por el aporte de la duna frontal, o bien por la disminución de la energía del oleaje.

#### 4.3.2.4 *La desviación estándar del sedimento*

De acuerdo a la clasificación de Folk (1966), se encontró en la mayoría de las muestras de playa una selección moderadamente buena (MBS), a excepción de tres muestras de berma, en donde los sedimentos están mejor seleccionados, con valores entre 0.48 y 0.49  $\phi$  (Tabla 4).

En las muestras del perfil 1 (berma) durante casi todo el año la selección es buena, a excepción de la muestra de marzo, en donde la selección se reduce. Pero de manera general podemos decir que las muestras del perfil 1 están bien seleccionadas. Esta buena selección es una evidencia de la influencia eólica en la zona de la berma, la cual selecciona mejor el sedimento. La selección de las muestras del perfil 2 se mantiene en una selección moderadamente buena (MBS), y las muestras del perfil 3 son las que presentan mayor diferencia numérica a lo largo del año de muestreo, encontrando una muestra bien seleccionada (BS), otra en junio moderadamente bien seleccionada, y las últimas dos con una menor selección (Figura 41).

Las muestras de la zona intermareal en el perfil 1, al igual que en las de la berma, se mantienen en un mismo rango, en donde están moderadamente bien seleccionadas (Figura 42). En contraste con el comportamiento anteriormente mencionado, en los perfiles 2 y 3 si existen diferencias entre cada una de las muestras con respecto a su selección, encontrando en el perfil 2 una muestra moderadamente bien seleccionada (MBS) en marzo, y posteriormente en junio y en noviembre del mismo año la selección es

moderada (MS), y en febrero del 2002 comienza a incrementarse la selección. En las muestras del perfil 3, se encontró una muestra moderadamente bien seleccionada en marzo, en junio la selección se mejora, y en noviembre se presenta una moderadamente buena selección nuevamente, hasta finalizar con una selección moderada (MS) en febrero del 2002. Nuevamente se vuelven a diferenciar los perfiles 2 y 3 del perfil 1, encontrando que las muestras del perfil 1 se mantienen en un solo rango de selección, mientras que las muestras de los perfiles 2 y 3 caen en varios rangos de selección. Esta diferenciación en la selección de los perfiles 2 y 3 con respecto al perfil 1, probablemente se deba nuevamente a la influencia de las cuatrimotos

#### 4.3.2.5 *El sesgo del sedimento*

La mayor parte de los sedimentos en la playa tienen un sesgo hacia los finos (positivos). Únicamente en dos muestras, una de junio del 2001 y otra de noviembre del 2001, ambas colectadas en la berma, encontramos una distribución simétrica (Tabla 4). La tendencia de las curvas a lo largo de un año (en la berma), es principalmente sesgada a los finos, en casi todas las muestras. Sin embargo, nuevamente las muestras del perfil 1, varían numéricamente de las muestras de los perfiles 2 y 3, encontrando valores más altos en las muestras del perfil 1, indicándonos una curva fuertemente sesgada a los finos. A diferencia de estos valores, la distribución de las muestras de los perfiles 2 y 3 es más o menos similar, encontrando en ambas muestras de marzo, una curva simétrica, y en el resto un sesgo a los finos (Figura 41). Por lo tanto, podemos decir que en marzo las muestras no tenían influencia de determinado tamaño, a diferencia de los demás meses en donde si encontramos una influencia de tamaños finos. Así podemos decir que la época en donde la curva de distribución tiende a ser simétrica es en marzo.

En las muestras de la zona intermareal no alcanzamos a definir una diferenciación entre las muestras de cada uno de los perfiles a lo largo del año. Cada una de las muestras tiene su propia tendencia (Figura 42). En el perfil 1 encontramos para marzo una distribución sesgada a los finos, y en el resto de los meses la distribución cambia a fuertemente sesgada a los finos, lo cual nos indica que en marzo aún no había presencia de sedimento fino y que a partir del verano la influencia de sedimento fino está presente en las muestras. En el perfil 2 comenzamos en la muestra de marzo con una tendencia de sesgada a los finos a simétrica, sin embargo para junio la simetría desaparece y la

tendencia de la curva es fuertemente sesgada a los finos, y nuevamente en noviembre vuelve a presentarse una simetría en la muestra. Finalmente, en la muestra de febrero, la curva está fuertemente sesgada a los finos. Sin embargo, en el perfil 3 ocurre lo contrario al perfil 2, encontrando una curva fuertemente sesgada a los finos en marzo y consecutivamente en junio una curva tendiendo a ser simétrica, y finalizando en noviembre y febrero nuevamente con una curva fuertemente sesgada a los finos. Debido a este comportamiento tan complejo en la distribución de los tamaños, no podemos explicar una tendencia específica del sesgo a lo largo del año de monitoreo. Lo que sí podemos decir es que todas las muestras están siendo influenciadas por sedimento fino, probablemente proveniente de los arroyos cercanos al área.

Tabla 4. Parámetros texturales del sedimento en la playa de Cabo Falso

MES	MUESTRA	PERFIL	MEDIA (Ø)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Ø)	SESGO
MAR 2001	Berma	P1	1.28/AM	0.62/MBS	0.18/SF
		P2	0.67/AG	0.48/BS	0.15/SF
		P3	1.10/AM	0.62/MBS	0.30/SF
	Intermareal	P1	0.87/AG	0.69/MBS	0.25/SF
		P2	1.20/AM	0.60/MBS	0.11/SF
		P3	0.74/AG	0.62/MBS	0.55/FSF
JUN 2001	Berma	P1	0.72/AG	0.50/MBS	0.14/SF
		P2	0.85/AG	0.57/MBS	0.28/SF
		P3	0.99/AG	0.53/MBS	0.064/S
	Intermareal	P1	0.51/AG	0.67/MBS	0.41/FSF
		P2	0.40/AG	0.72/MS	0.49/FSF
		P3	0.93/AG	0.49/BS	0.15/SF
NOV 2001	Berma	P1	0.02/AG	0.49/BS	1.08/FSF
		P2	0.64/AG	0.90/MS	0.24/SF
		P3	0.85/AG	0.62/MBS	-0.017/S
	Intermareal	P1	0.58/AG	0.70/MBS	0.39/FSF
		P2	0.97/AG	0.80/MS	0.12/SF
		P3	0.39/AG	0.60/MBS	0.62/FSF
FEB 2002	Berma	P1	-0.01/AMG	0.49/BS	1.17/FSF
		P2	0.38/AG	0.72/MS	0.64/FSF
		P3	0.36/AG	0.69/MBS	0.81/FSF
	Intermareal	P1	0.30/AG	0.54/MBS	0.67/FSF
		P2	0.71/AG	0.65/MBS	0.45/FSF
		P3	1.12/AM	0.71/MS	0.34/FSF

AG, arena gruesa; AMG, arena muy gruesa; AM, arena media.

SF, sesgado a los finos; FSF, fuertemente sesgado a los finos; S, simétrica.

BS, bien seleccionada; MBS, moderadamente bien seleccionada; MS, moderadamente seleccionada.

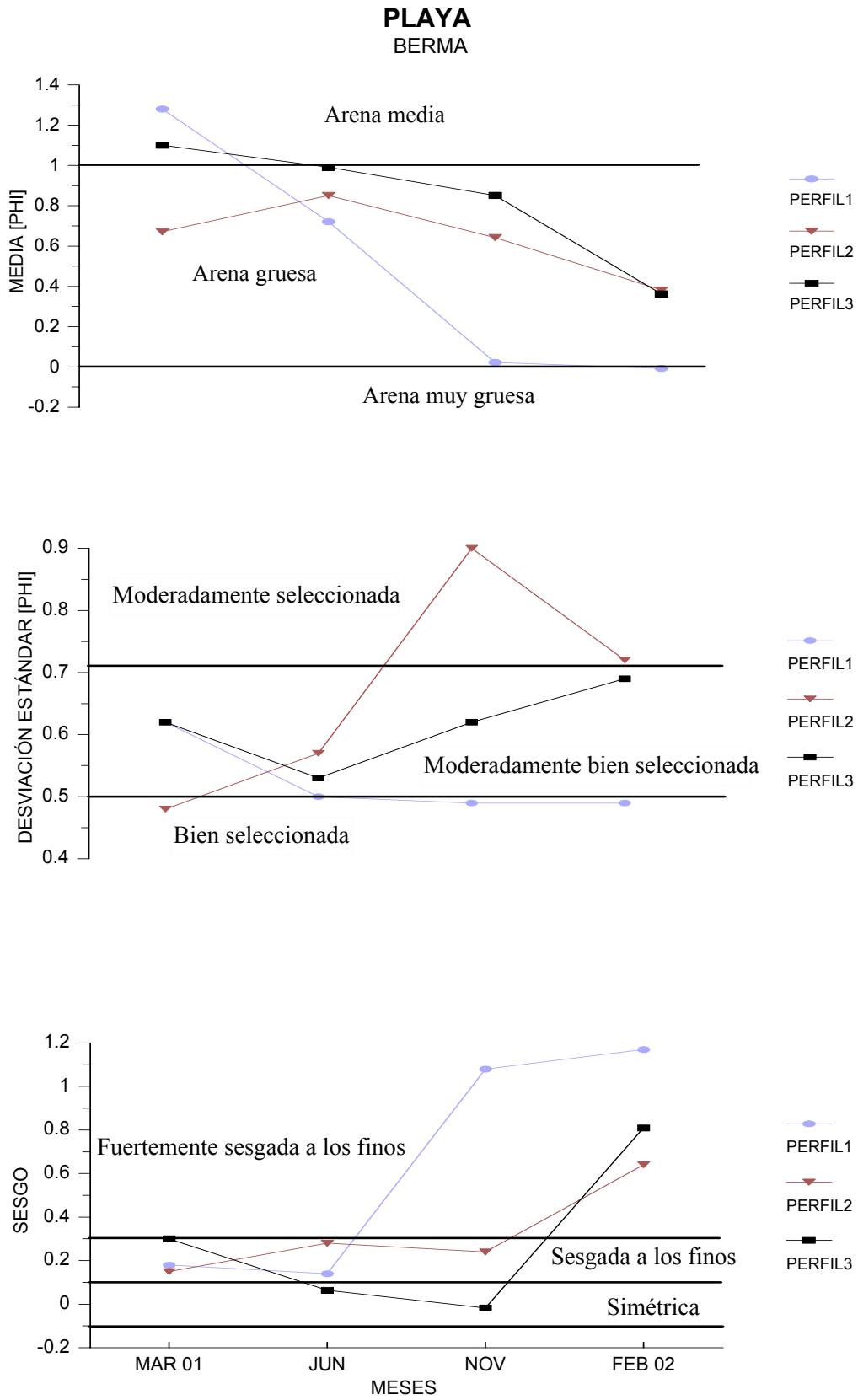


Figura 41. Parámetros de distribución del tamaño de grano en la berma de la playa.

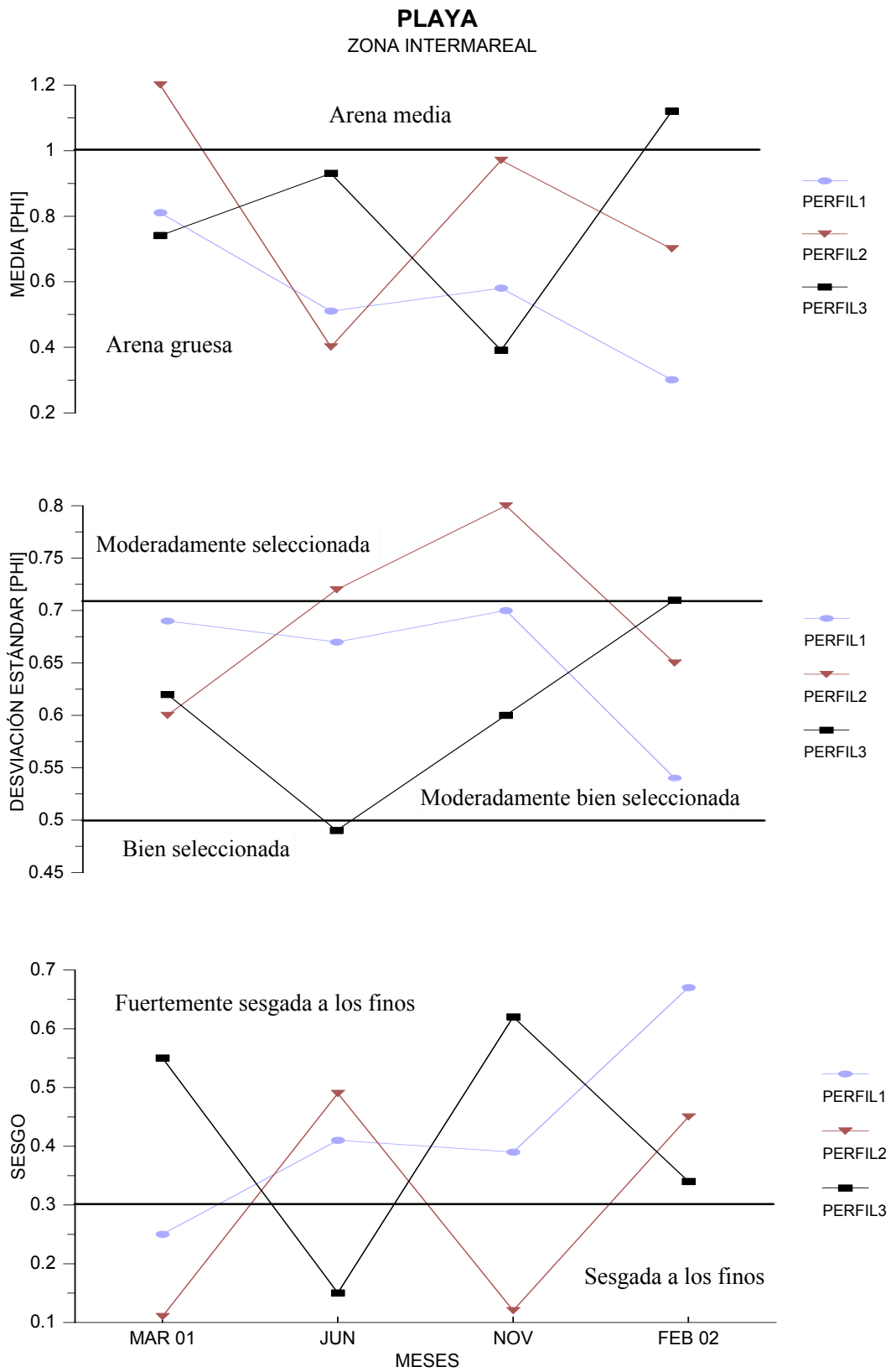


Figura 42. Parámetros de distribución del tamaño de grano en la zona intermareal de la playa.

### 4.3.3 Cordón de duna

#### 4.3.3.1 *Introducción*

El desarrollo de las dunas depende principalmente del tipo de sedimento, de la naturaleza de la fuente del material sedimentario, de la presencia de viento y de la vegetación capaz de iniciar la estabilización del depósito. Las dunas están constituidas por sedimento aportado desde la playa. Una vez expuesta la playa el sedimento es secado y movido por el viento (Carter, 1988).

#### 4.3.3.2 *Distribución del tamaño de sedimento*

Para las muestras colectadas en los vados y crestas de la duna, encontramos una distribución de frecuencia unimodal, tanto para las muestras de mayo del 2001 como para las de octubre del 2001 y febrero del 2002, teniendo un sedimento de arenas medias. Este tamaño de sedimento es el más común en las dunas (Apéndice 2).

#### 4.3.3.3 *La media del sedimento*

El tamaño medio del sedimento en el cordón de duna es predominantemente de arenas medias, a excepción de dos muestras de cresta colectadas en mayo y febrero en donde la media del sedimento es de arenas finas (Tabla 5). En las muestras de mayo y octubre, dos de las crestas tienden a tener el mismo comportamiento, encontrando sedimento de tamaño medio. Contrario a lo anterior, en la muestra de la cresta 2, encontramos en mayo arenas finas y en octubre y febrero un tamaño de arenas medias (Figura 43). Es importante mencionar que en febrero no fue posible muestrear nuevamente en un vado (5) y una cresta (6).

El sedimento típico en una duna es arenas medias, sin embargo en nuestro estudio existe presencia de sedimento fino en dos de las muestras de cresta, y probablemente este comportamiento esté relacionado a que la tracción de las cuatrimotos por los caminos de la duna, fractura el sedimento, produciendo material fino, y este a su vez está siendo transportado por el viento hacia las crestas. Con respecto a las muestras de vado, encontramos sedimento principalmente de arena media para todos los meses monitoreados (Figura 44).

#### 4.3.3.4 *La desviación estándar del sedimento*

En el cordón de duna encontramos tanto en las muestras de vados como en las de cresta una buena selección. Únicamente en una muestra de cresta la selección no fue buena. Pero de manera general podemos decir que el sedimento de las muestras del cordón de duna está bien clasificado (Tabla 5).

En la Figura 43 (crestas) se observa en la gráfica de desviación estándar valores numéricos menores en mayo para las 3 crestas muestreadas, encontrando en una de ellas un valor que nos indica una muestra bien seleccionada (BS). Posteriormente, en el muestreo de octubre, los valores aumentan en comparación con los de mayo, encontrando muestras moderadamente bien seleccionadas (MBS). Finalmente, en febrero del 2002, el valor numérico continua aumentando, llegando en una de las muestras a la clasificación de moderadamente seleccionada (MS). Esta tendencia a lo largo del año es muy similar en todas las muestras, mostrando en general una tendencia a una mejor selección durante los meses de invierno.

En las muestras de vados a lo largo del año de muestreo (Figura 44), encontramos una buena selección en casi todas las muestras, a excepción de dos de ellas, en donde están moderadamente bien seleccionadas (MBS). En este caso no se observa un aumento o una disminución marcada en los valores, encontrando un rango muy estrecho que va de 0.40 a 0.68 phi, lo cual indica que estas muestras siempre cayeron dentro de la clasificación de moderadamente bien seleccionada.

#### 4.3.3.5 *El sesgo del sedimento*

En el cordón de duna la distribución de los sedimentos se sesga más hacia los tamaños finos que hacia los gruesos. En dos muestras se presenta una tendencia hacia tamaños gruesos, mientras que las demás muestras tienen una distribución que va desde simétrica hasta sesgada hacia los finos (Tabla 5). En las muestras de cresta se encontró a lo largo del monitoreo una tendencia muy similar en las muestras 2 y 4 a tener valores menores en mayo, un aumento en octubre, y nuevamente menores en febrero. Sin embargo, a pesar de tener distribuciones similares, los valores numéricos obtenidos son diferentes, encontrando valores más altos en las muestras de la cresta 2 en comparación con las de la 4, y dando como resultado una curva de distribución diferente. En las primeras muestras, la curva va desde simétrica a sesgada a los finos, y en las restantes,

encontramos una distribución sesgada a los finos (SF) hasta fuertemente sesgada a los finos (FSF). En las muestras de la cresta 6 los valores se mantienen en una clasificación de simétricos (Figura 43). En las muestras de vados o caminos de cuatrimotos no se observa una tendencia bien definida en los meses de muestreo, encontrando valores en casi todas las muestras que nos indican una distribución simétrica (S), a excepción de las muestras del vado 3 en octubre y noviembre, en donde están sesgadas hacia los finos (SF) (Figura 44).

Tabla 5. Parámetros texturales del sedimento en el cordón de duna de Cabo Falso

MES	MUESTRA	NÚMERO	MEDIA ( $\emptyset$ )	DESVIACIÓN ESTÁNDAR ( $\emptyset$ )	SESGO
MAYO 2001	Vados	1	1.88/AM	0.40/BS	0.02/SF
		3	1.79/AM	0.45/BS	-0.10/SG
		5	1.55/AM	0.45/BS	0.21/SF
	Crestas	2	2.02/AF	0.63/MBS	0.23/SF
		4	1.63/AM	0.44/BS	0.006/S
		6	1.72/AM	0.53/MBS	0.07/S
OCTUBRE 2001	Vados	1	1.63/AM	0.47/BS	0.06/S
		3	1.67/AM	0.51/MBS	0.24/SF
		5	1.64/AM	0.46/BS	0.15/SF
	Crestas	2	1.12/AM	0.67/MBS	0.50/FSF
		4	1.63/AM	0.54/MBS	0.15/SF
		6	1.72/AM	0.61/MBS	-0.02/S
FEBRERO 2002	Vado	1	1.69/AM	0.54/MBS	0.14/SF
		3	1.54/AM	0.49/BS	0.23/SF
	Crestas	2	1.76/AM	0.72/MS	0.08/S
		4	2.22/AF	0.58/MBS	0.02/S

AG, arena gruesa; AMG, arena muy gruesa; AM, arena media.

SF, sesgado a los finos; FSF, fuertemente sesgado a los finos; S, simétrica.

BS, bien seleccionada; MBS, moderadamente bien seleccionada; MS, moderadamente seleccionada



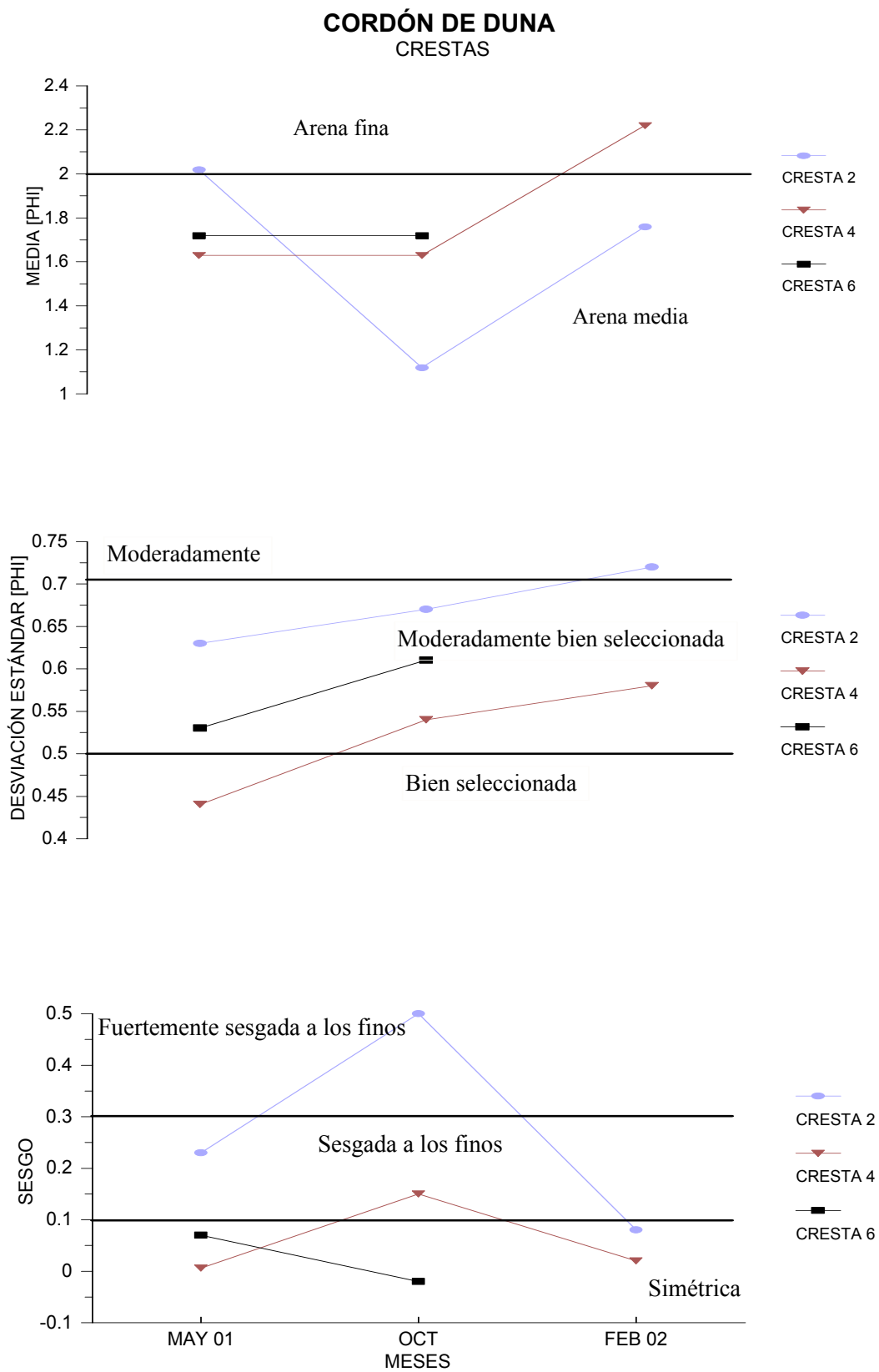


Figura 43. Parámetros de distribución del tamaño de grano en las crestas del cordón de duna.

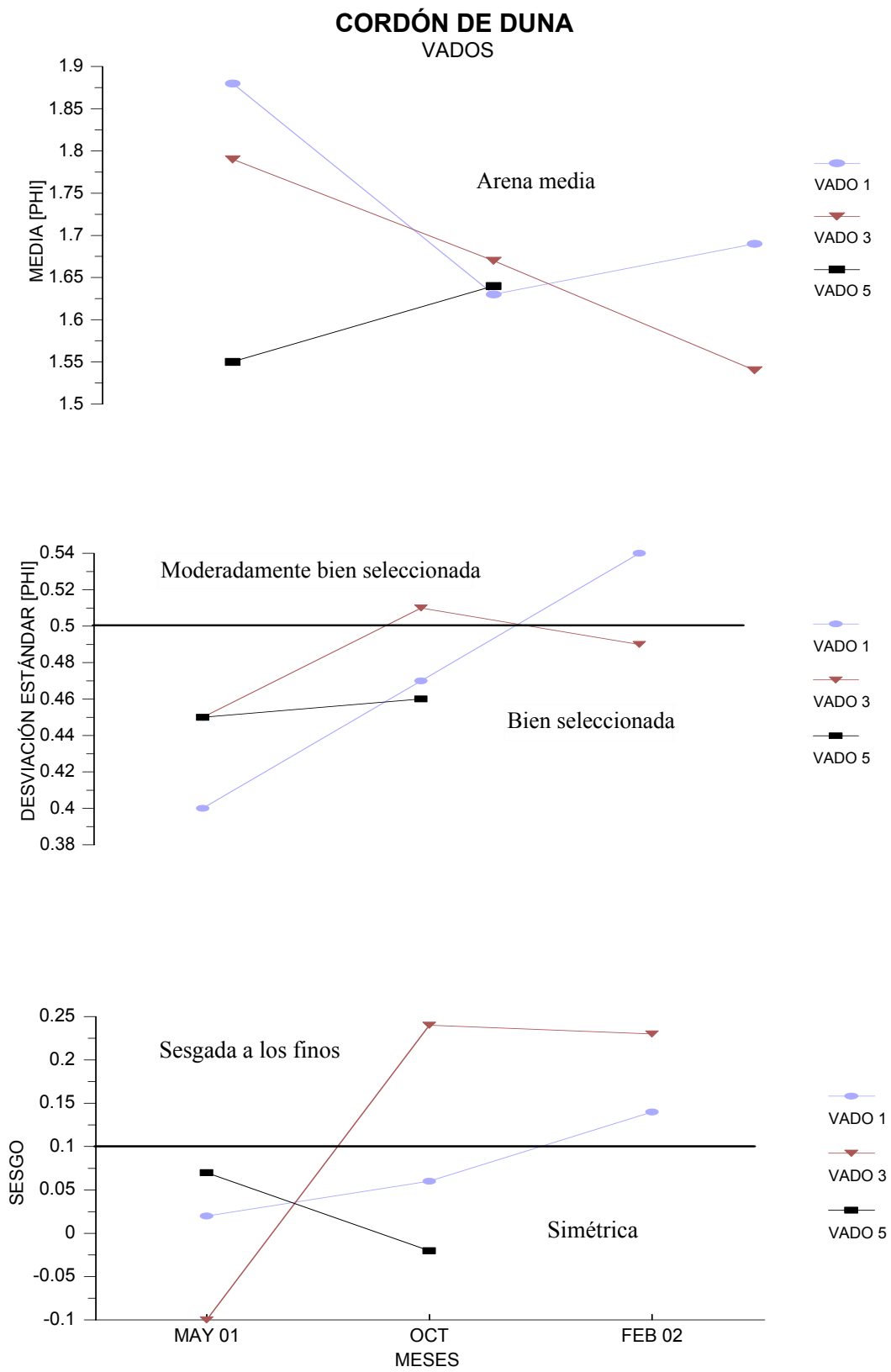


Figura 44. Parámetros de distribución del tamaño de grano en los vados del cordón de duna.

#### 4.3.4 Duna parabólica

##### 4.3.4.1 *Distribución del tamaño de sedimento*

Encontramos que las distribuciones de frecuencia del tamaño de grano en la zona intermedia de la duna de los perfiles 1 y 3 es unimodal (Apéndice 3). El tamaño del sedimento presente en la duna durante octubre y noviembre, meses posteriores al huracán, tiende a ser grueso. Esta conducta en el tamaño de grano coincide con la alta energía del viento que se presentó en los días del huracán, la cual ayudó a transportar sedimento más grueso hacia la duna, además de remover el sedimento más fino. Las distribuciones de frecuencia en febrero nos indican que la energía del viento disminuyó y en consecuencia el tamaño del sedimento también. A pesar de que es época de invierno y esperaríamos que la energía del viento fuera fuerte, fue menos intensa que cuando el huracán *Juliette* pasó por la zona.

##### 4.3.4.2 *La media del sedimento*

En la Tabla 6 podemos observar que la media del sedimento presente en la duna tanto en la zona del perfil 1 como en la del perfil 3, cae en arenas medias, a excepción de dos muestras. Estas dos muestras de octubre y noviembre, colectadas a lo largo del perfil 1, presentaron una media de 1.00 phi y de 0.54 phi respectivamente. Estos valores, de acuerdo a la escala de Wentworth, nos representan tamaños de arenas gruesas. Eso indica que la intensidad del viento probablemente transporto sedimento más grueso durante estos dos meses.

En la Figura 45 se observa una media en las muestras de octubre muy similar, encontrándose en el límite de las arenas gruesas; posteriormente en noviembre, la media disminuye en la muestra del perfil 1, pero aún se mantiene en el rango de las arenas gruesas, y en la del perfil 3 el valor aumenta, clasificando la muestra como de arena media. Finalmente en febrero, ambas muestras se mantienen en el rango de arenas medias, siendo el tamaño típico del sedimento de una duna.

Las arenas gruesas presentes en octubre en las dos muestras, nos podrían indicar que los fuertes vientos que prevalecieron durante el huracán *Juliette* provocaron un transporte de sedimento más grueso de la playa hacia la duna. Contrario a este comportamiento en los siguientes meses, el sedimento de las muestras cae en la categoría de arenas medias, el cual es común en dunas costeras, pues el viento durante

épocas de calma o normales, tiende a transportar sedimento principalmente de este tamaño.

#### 4.3.4.3 *La desviación estándar del sedimento*

Las dunas contienen sedimento que va de moderadamente seleccionado (MS) a moderadamente bien seleccionado (MBS). En la duna a lo largo del perfil 3 (zona de actividad recreativa), para octubre y febrero, encontramos una mejor clasificación del sedimento con respecto a las muestras del perfil 1. Estas muestras para los tres meses muestreados nos dan valores entre 0.73 y 0.89 phi, los cuales nos indican un sedimento moderadamente seleccionado (Tabla 6).

La tendencia de los sedimentos de las muestras del perfil 1 a lo largo del monitoreo es mantenerse en el nivel de una clasificación moderada. En cambio en las muestras del perfil 3, se presentan más diferencias en los tres meses monitoreados, con una moderadamente buena selección (MBS) en octubre, en noviembre se sale de este rango y encontramos una menor selección, y para finalizar, en febrero la muestra vuelve a presentar casi la misma selección que en octubre (Figura 45). En éstas muestras no se alcanza a definir una disposición específica entre las muestras de ambos perfiles, pues los valores numéricos son muy distintos. Esto nos indica que cada uno de los perfiles tiene su propio comportamiento con respecto a su granulometría y sobre todo que en el perfil 3 la actividad de las cuatrimotos probablemente está influyendo en las diferencias en la selección del sedimento.

#### 4.3.4.4 *El sesgo del sedimento*

El sesgo del material de duna es positivo (finos). En la Tabla 6 se observa que las muestras colectadas en noviembre muestran una distribución fuertemente sesgada hacia los finos (FSF). Este mismo comportamiento se presenta nuevamente en una de las muestras de octubre, con un valor de 0.53. En las muestras restantes la distribución está ligeramente sesgada hacia los finos (SF).

La tendencia que siguen las muestras del perfil 3 es a tener un sesgo hacia los finos en octubre, una clasificación fuertemente sesgada a los finos en noviembre, y una tendencia nuevamente hacia los finos en febrero. En las muestras del perfil 1 en octubre y noviembre el sesgo es fuertemente hacia los finos (FSF), y en febrero, al igual que en las muestras del perfil 3, se presenta un sesgo hacia los finos (SF). Es importante mencionar

que tanto las muestras de los del perfil 1 como los del 3, mostraron una distribución de sedimento hacia los finos de octubre a noviembre y posteriormente ésta disminuye en febrero, indicándonos que las muestras de noviembre son las que son diferentes. Probablemente esto también sea un efecto del huracán *Juliette*. Sin embargo, tanto en las muestras del perfil 1 como en las del perfil 3 en general podemos decir que la curva de distribución tiende hacia los finos (Figura 45).

Tabla 6. Parámetros texturales del sedimento en la duna parabólica

MES	MUESTRA	MEDIA ( $\emptyset$ )	DESVIACIÓN ESTÁNDAR ( $\emptyset$ )	SESGO
OCTUBRE 2001	P1	1.00/AG	0.78/MS	0.53/FSF
	P3	1.01/AM	0.58/MBS	0.30/SF
NOVIEMBRE 2001	P1	0.54/AG	0.79/MS	0.66/FSF
	P3	1.33/AM	0.89/MS	0.60/FSF
FEBRERO 2002	P1	1.47/AM	0.73/MS	0.29/SF
	P3	1.13/AM	0.54/MBS	0.21/SF

AG, arena gruesa; AMG, arena muy gruesa; AM, arena media.

SF, sesgado a los finos; FSF, fuertemente sesgado a los finos; S, simétrica.

BS, bien seleccionada; MBS, moderadamente bien seleccionada; MS, moderadamente seleccionada

## DUNA PARABÓLICA

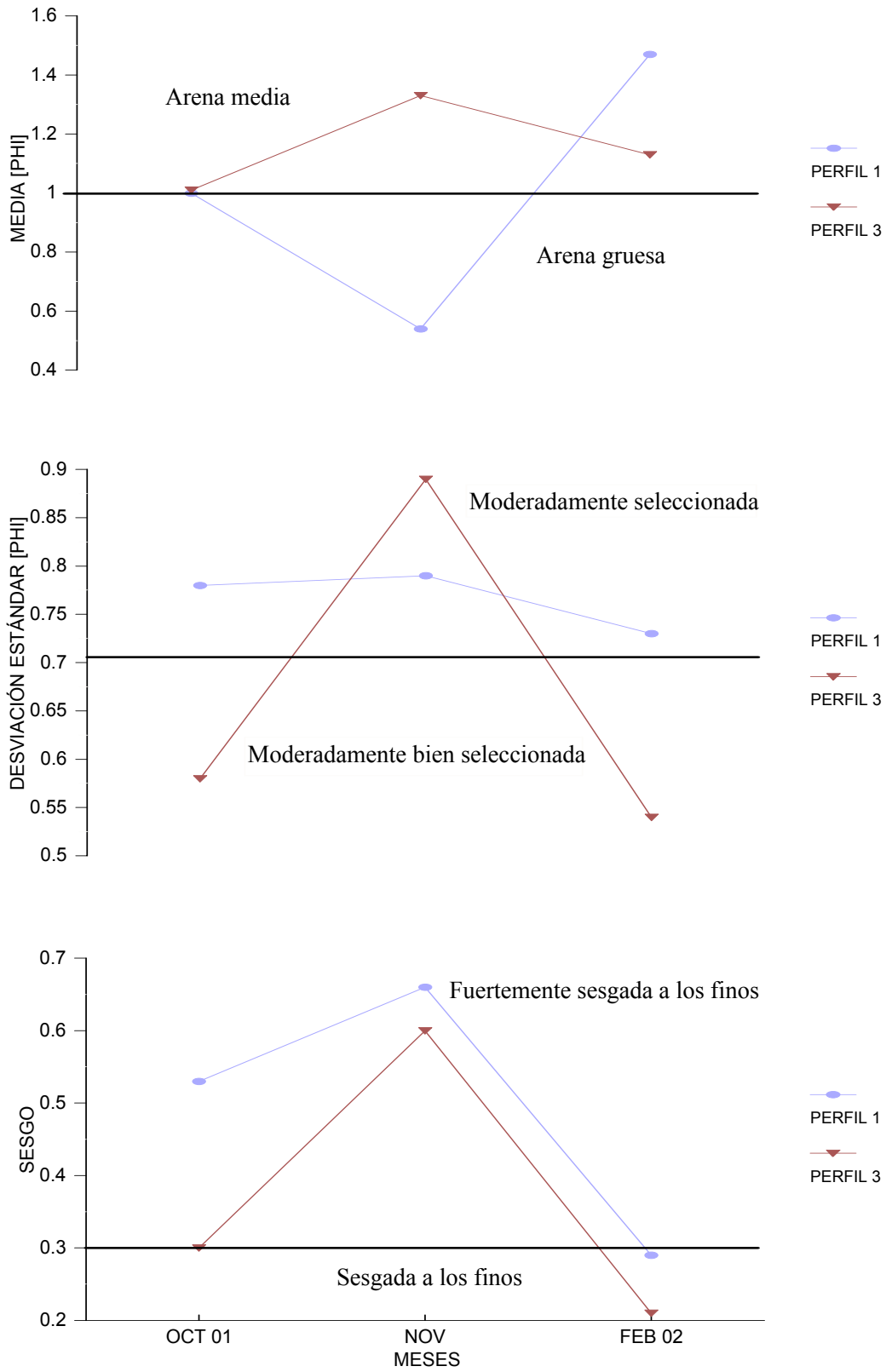


Figura 45. Parámetros de distribución del tamaño de grano en la duna parabólica.

#### 4.3.5 Gráfica de dispersión

En la Figura 46 observamos en la distribución del sesgo una separación de los ambientes sedimentarios incluidos en el análisis granulométrico, en donde las muestras de duna se localizan en el extremo izquierdo de la gráfica, y las de playa y arroyo en la parte central. Con respecto a la desviación estándar, también se presenta una diferenciación marcada, encontrando los arroyos en la parte superior de la gráfica, las de playa en la parte media y las dunas en la parte inferior. De igual manera este comportamiento nos indica que los ambientes de arroyo, de acuerdo al rango de desviación estándar, presentan una selección pobre en todas las muestras y una distribución fuertemente sesgada hacia los finos. Las muestras de playa están mejor seleccionadas y también están sesgadas hacia los finos pero en menor grado que las de arroyos. Y por último, en las muestras de duna tanto parabólica como del cordón de duna, encontramos en general una buena selección y valores que nos indican un sesgo hacia los finos, comportamiento muy similar al de las muestras de playa. Sin embargo, en 3 de las muestras (P1 octubre y P1 y 3 noviembre) de la duna parabólica, encontramos que los valores de sesgo se salen del rango de la mayoría de las muestras de duna y de playa, indicándonos que estas muestras tuvieron más influencia de material fino que el resto. Estas diferencias probablemente se deban a la influencia del huracán *Juliette*, el cual transportó sedimentos de una gran variedad de tamaños; y también se deben a la influencia de los arroyos, los cuales durante el huracán transportaron grandes cantidades de sedimento a la plataforma, el cual poco a poco fue redistribuido a lo largo de la costa.

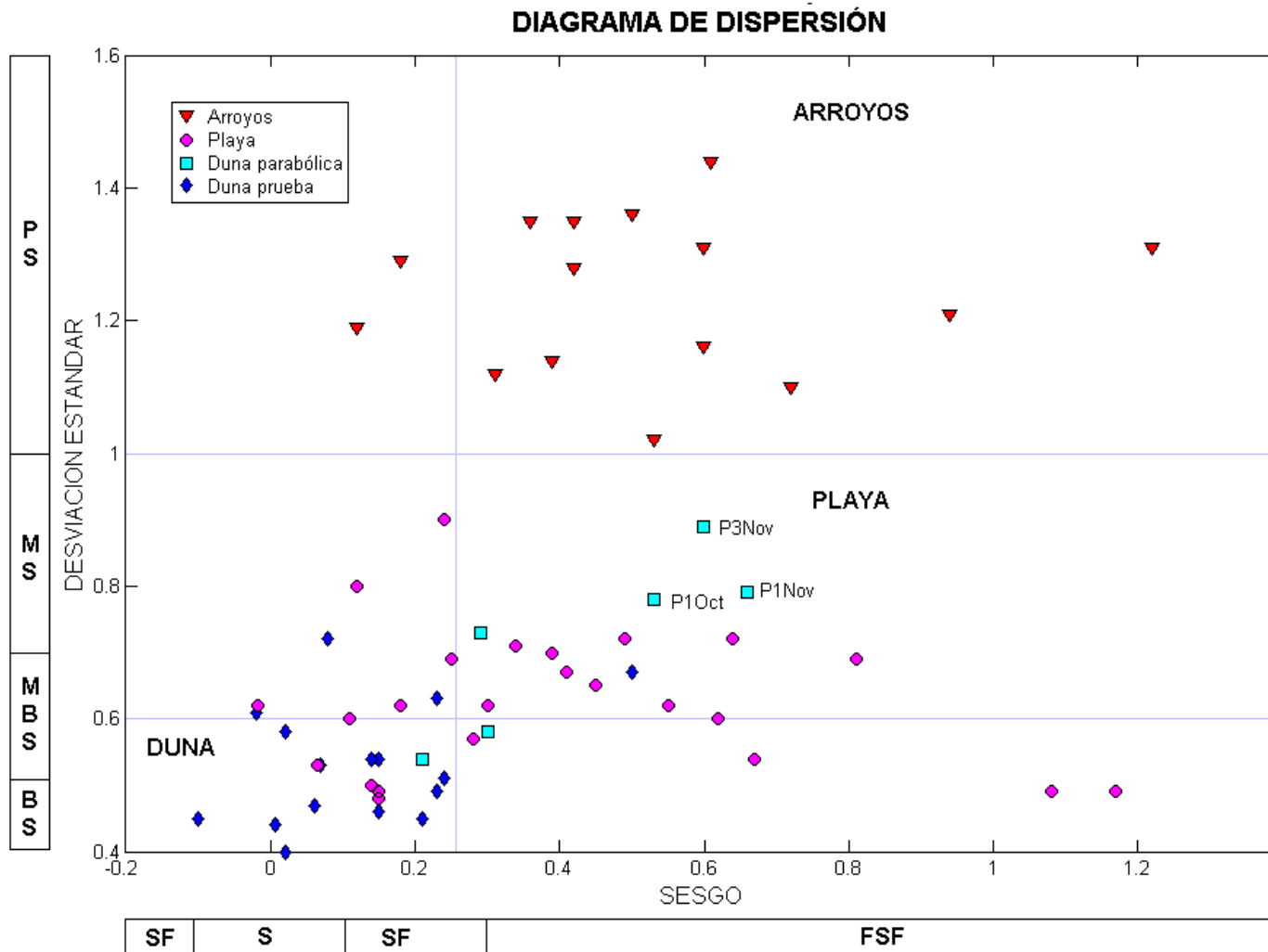


Figura 46. Diagrama de dispersión de todos los ambientes sedimentarios que fueron muestreados; SF, sesgado a los finos; S, simétrica; FSF, fuertemente sesgada a los finos; BS, bien seleccionada; MBS, moderadamente bien seleccionada; MS, moderadamente seleccionada; PS, pobremente seleccionada.



#### 4.4 Mineralogía

##### 4.4.1 Introducción

La composición de los sedimentos de la playa y duna es principalmente de cuarzo (Qz, 75%), seguido de feldespatos (Fld), anfíboles (An) y en menor proporción las micas (Mi). Estos tipos de minerales a su vez son parte de la composición de las rocas circundantes del batolito de Los Cabos, que probablemente ha sido la fuente de aporte de los sedimentos de Cabo Falso.

##### 4.4.2 Cordón de duna, duna parabólica y playa

###### 4.4.2.1 *Cuarzo*

El cuarzo es el mineral que presenta los porcentajes más altos con respecto a los otros minerales, tanto en las muestras de playa como en las del cordón de duna y en la duna parabólica. Esto es debido a que el mineral de cuarzo es altamente resistente a la abrasión por su dureza (7) a diferencia del resto de los minerales formadores de la roca. Puesto que la costa está expuesta a oleaje de alta energía, el cuarzo se selecciona, encontrándose con abundancia. Los valores de las muestras de playa son los que presentan la mayor variación, fluctuando entre 73 y 89 % (Tabla 7). Los valores encontrados para las muestras del cordón de duna van de 76 a 88 %, y los de la duna parabólica son entre 79 a 88 % (Tablas 8 y 9). En ninguno de los ambientes sedimentarios se presenta un patrón definido, ni entre los perfiles ni entre las muestras de ambas dunas.

Tabla 7. Composición mineralógica del sedimento en playa.

MES	MUESTRA	PERFIL	Qz (%)	Fld (%)	Mi (%)	An (%)
MARZO 2001	Intermareal	P1	73	9.33	1.66	16
		P2	78.33	7.33	1.33	13
		P3	82	6	1.66	10
JUNIO 2001	Intermareal	P1	76.66	9.33	5	9
		P2	73.33	6.33	6	14.33
		P3	86.66	5.33	1.33	6.66
NOVIEMBRE 2001	Intermareal	P1	88	1.33	1.33	9.33
		P2	83	2.33	1	13.66
		P3	89.33	3	1	6.66
FEBRERO 2002	Intermareal	P1	89	4	2	5
		P2	88	3	1.66	7.33
		P3	89.33	0.66	1.66	8.33

#### 4.4.2.2 Anfíboles

Este mineral es el que presenta los porcentajes más altos después del cuarzo, tanto en las muestras de playa como en las de ambas dunas. Los valores más altos de estos ambientes se presentaron en la zona de la duna parabólica, fluctuando entre 10 y 19 % (Tabla 9). En la playa los valores también fueron altos, con un rango entre 5 y 16% (Tabla 7). Finalmente los valores más bajos de estos tres ambientes los encontramos en el cordón de duna con una fluctuación de 2 a 6 % (Tabla 8).

#### 4.4.2.3 Feldespatos

En las muestras de playa los porcentajes de feldespato oscilan entre 3 y 9.33 % (Tabla 7). En las muestras del cordón de duna se encontraron los porcentajes más altos de este mineral, con valores de 5 a 14.3 % (Tabla 8), y en la zona de la duna parabólica los porcentajes fueron de alrededor 1 % para cada una de las muestras colectadas (Tabla 9). En la distribución de los minerales a lo largo de un año en la playa se presenta una variación de alrededor del 2 %, de tal manera que los valores son más altos en la zona del perfil 1 (zona norte) que en la zona de los perfiles 2 y 3 (zona sur), a excepción de las muestras de noviembre del 2001 en donde la variación es inversa con un valor máximo de 3% (en la zona sur) y uno mínimo de 1.33% (en la zona norte) (Tabla 7).

Tabla 8. Composición mineralógica del sedimento en el cordón de duna.

MES	MUESTRA	NÚMERO	Qz (%)	Fld (%)	Mi (%)	An (%)
MAYO 2001	Vados	1	88.33	5	1.33	5.33
		3	84	9.33	0	6.66
	Crestas	2	76.66	14.33	4	5
		4	83.33	9.33	4.33	2.66

#### 4.4.2.4 Micas

Los porcentajes de micas en la gran mayoría de las muestras de playa y duna son bajos, encontrando valores entre 1 y 4.33 % en todos los ambientes. Se presentan en bajas proporciones en todos los perfiles de playa y en la duna parabólica. Sin embargo, en las muestras del cordón de duna los porcentajes son los más altos (a excepción de una muestra colectada en uno de los caminos del cordón, en donde las micas estuvieron ausentes; ver Tablas 7, 8 y 9). Estos porcentajes tan bajos en la playa se pueden deber a

la alta energía de oleaje que se presenta en esta zona, la cual contribuye a la remoción de las micas, transportándolas con facilidad por su forma en hojuelas hacia zonas más profundas.

Tabla 9. Composición mineralógica del sedimento en la duna parabólica

MES	MUESTRA	Qz (%)	Fld (%)	Mi (%)	An (%)
OCTUBRE 2001	P1	79.33	1	0.66	19
	P3	87.33	1	0.66	11
FEBRERO 2002	P1	86.33	1.66	1.33	10.66
	P3	88.66	0.66	0.66	10

#### 4.4.3 Miembros terminales

Los miembros terminales o muestras de las áreas potenciales de abastecimiento se obtuvieron a partir del análisis de Fourier Forma de Grano. Los resultados de éste análisis se abordaran en el siguiente capítulo. Sin embargo, debido a que a éstas muestras también se les determinó la mineralogía, fue necesario incluir los resultados en este capítulo.

En la composición mineralógica de estas muestras predomina nuevamente el cuarzo, oscilando entre 57.67 y 90 %. En los arroyos al norte del área (muestras 299a y 646a), se encontró una composición mineralógica similar a la de la playa, y en consecuencia a la de la duna de Cabo Falso. En el arroyo “El Migriño” (muestra 299a), el cuarzo es el mineral que sobresale, encontrando un porcentaje de 69.67, seguido de micas con un 21.67, de anfíboles con un 7.67 %, y de feldespatos con un 1 %. Y en el otro arroyo “El Prieto” más cercano al área de estudio, nuevamente el mineral de cuarzo es el que abunda, aunque en menor cantidad que en el arroyo “El Migriño” con 57.33 %, y presenta una mayor abundancia de micas con 27.67%. Este comportamiento nos indica que tanto el arroyo “El Prieto” como “El Migriño” son los que están aportando las pocas micas que se presentan en las playas de Cabo Falso (Tabla 10). En la muestra de la duna antigua (562d) encontramos porcentajes importantes de anfíboles (34.67 %) en el sedimento, el cual probablemente indica que la duna antigua actúa como fuente de dicho mineral para la playa de Cabo Falso.

Es importante mencionar que al realizar el análisis mineralógico se encontró que el cuarzo en las muestras de las áreas potenciales de abastecimiento al sistema eólico

estaba alterado principalmente por óxido de hierro. Este comportamiento probablemente se deba a la intemperización de las micas y los anfíboles.

Tabla 10. Composición mineralógica de las muestras de sedimento en áreas potenciales de abastecimiento a los depósitos eólicos.

Miembro terminal	Localidad	Qz (%)	Mi (%)	Fld (%)	An (%)
299a	Arroyo “El Migriño”	69.67	21.67	1	7.67
539p	Playa “El Tule”	90	0.7	5	4.3
646a	Arroyo “El Prieto”	57.33	27.67	1.33	13.67
562d	Duna antigua “El Pedregal”	57.67	0	8.67	34.67

a, arroyo; p, playa; s, plataforma continental interna, d, duna

#### 4.4.4 Diagramas ternarios e histogramas

En el diagrama ternario observamos (Figura 47a), que la mayoría de las muestras de playa se concentran en la parte superior del diagrama, indicándonos una tendencia en la composición de la muestra hacia el cuarzo. Las muestras de febrero (2002) son las que se agrupan mejor en la parte superior de la gráfica, seguidas de las de noviembre (2001), mostrándonos que el cuarzo es el mineral que predomina en las muestras de estos meses. A diferencia de las muestras anteriores, las de marzo y junio del 2001 están más dispersas, encontrando en la composición una ligera mezcla de feldespatos y anfíboles, predominando este último mineral. En el histograma de frecuencia de la misma Figura (47b) se observa que el mineral que muestra el mayor porcentaje en el monitoreo es nuevamente el cuarzo, presentando el máximo porcentaje en noviembre (2001) y febrero (2002) con 89.33 %. Esos máximos durante dichos meses indican que el huracán *Juliette* ( que ocurrió a finales de septiembre), provocó que los arroyos cercanos al área de estudio descargaran material sedimentario hacia la costa con altos porcentajes de cuarzo en su composición.

En las muestras del cordón de duna encontramos nuevamente una predominancia de cuarzo, ubicándose la mayoría de las muestras en la parte superior del diagrama ternario (Figura 48a). Los feldespatos también están presentes en la composición de las muestras, y en menor cantidad los anfíboles (Figura 48b).

(A) MINERALOGÍA DE LAS MUESTRAS DE PLAYA

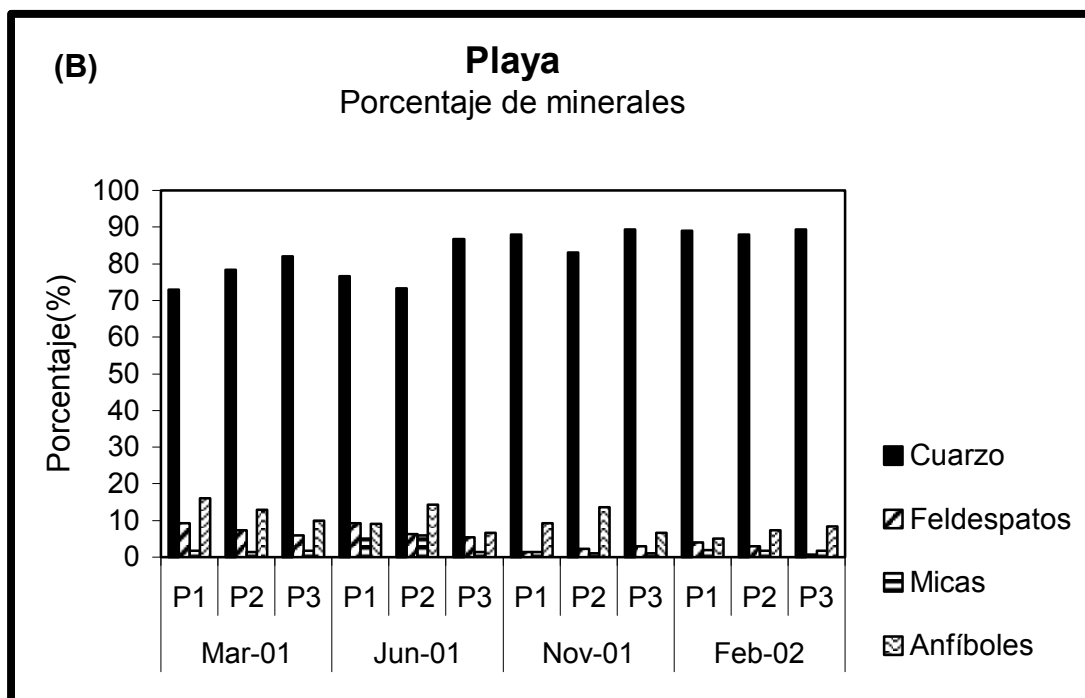
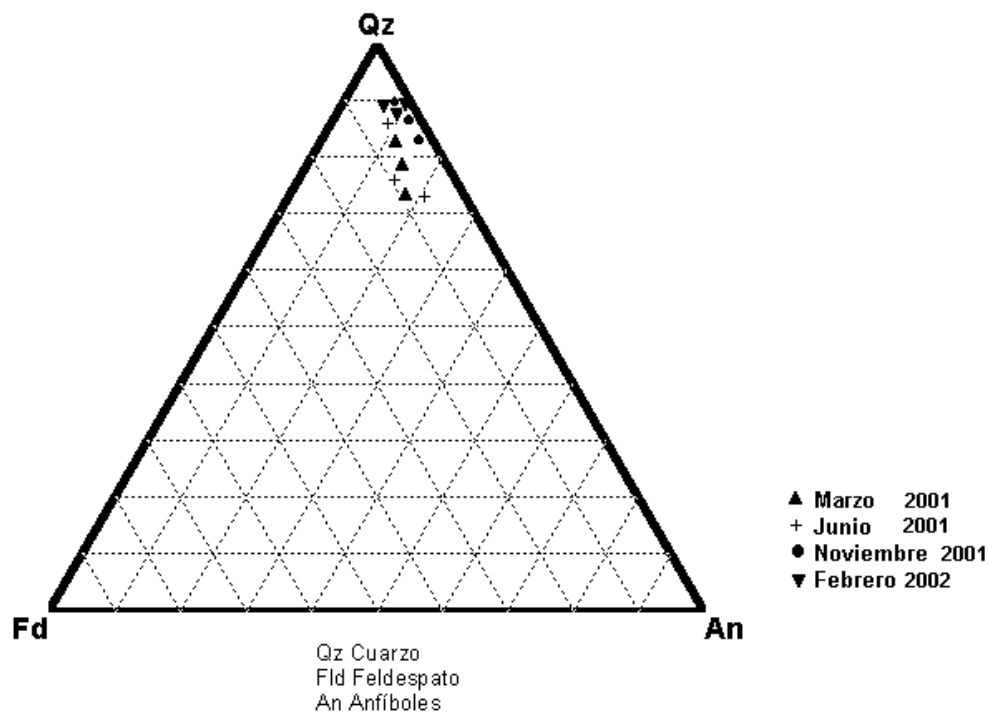


Figura 47. Diagrama ternario (A) e histograma (B) de las muestras de playa.

En las muestras de la duna parabólica la composición es, al igual que en las muestras del cordón de duna, muy similar a las de la playa (Figura 49a). Nuevamente encontramos una predominancia del cuarzo, por lo que inferimos que el sedimento de la playa es el que está abasteciendo tanto a la duna parabólica como al cordón de duna. Sin embargo, a diferencia de las muestras del cordón de duna, en estas muestras encontramos una mayor importancia de anfíboles en la composición mineralógica, y los feldespatos están casi ausentes (Figura 49b). Esta diferencia entre las muestras de la duna parabólica con las del cordón de duna en relación con los feldespatos y anfíboles probablemente se debe a que el muestreo en ambas dunas se realizó en diferentes épocas. Las de la duna parabólica se muestrearon después del huracán *Juliette* (octubre y noviembre del 2001), y las del cordón de duna en mayo del 2001 (4 meses antes del huracán). En las muestras de la duna parabólica probablemente las descargas fluviales que ocasionó el huracán aportaron porcentajes importantes de anfíboles, y una menor cantidad de feldespatos. Es decir, que las diferencias no se deben a que la fuente de sedimento provenga de diferentes zonas, sino a las distintas épocas de muestro.

Con respecto a las muestras miembros terminales más cercanas al área de estudio (299a, 646a, 562d), encontramos que el histograma es muy parecido al de la playa (Figura 50b), con una predominancia del cuarzo (57%-70%). Estas muestras se agrupan en el diagrama ternario en la parte superior (Figura 50a), lo cual nos indica una composición de cuarzoes mezclados con anfíboles, lo que a su vez coincide con la mineralogía que se presenta en las muestras de playa.

En la Figura 51 se observa que hay una composición similar entre las muestras de playa y duna con respecto a la composición de los arroyos “El Migriño” y “El Prieto” (miembros terminales 299a y 646a, respectivamente), pues encontramos una predominancia de cuarzo, seguida de las micas, anfíboles y en menor proporción de los feldespatos. De acuerdo a esta similitud en la composición mineralógica inferimos que estos arroyos, localizados al norte del área de estudio, probablemente están aportando material sedimentario hacia el mar, y posteriormente por medio de las corrientes litorales parte de éste material está llegando al sistema costero de Cabo Falso.

(A) **MINERALOGÍA DE LAS MUESTRAS DEL CORDÓN DE DUNA (MAYO 2001)**

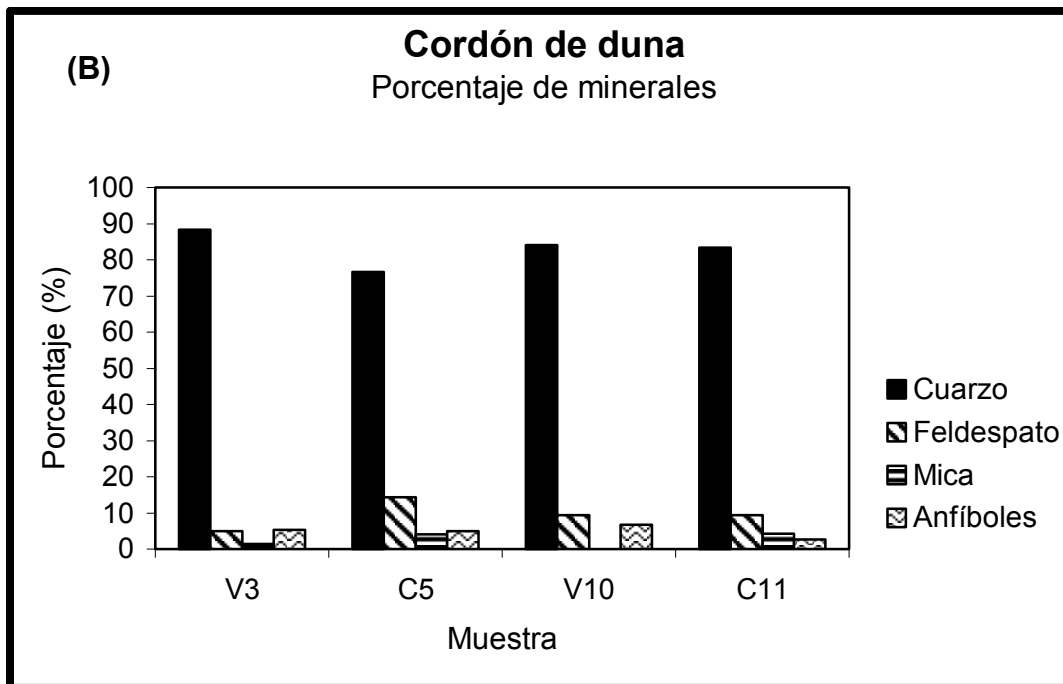
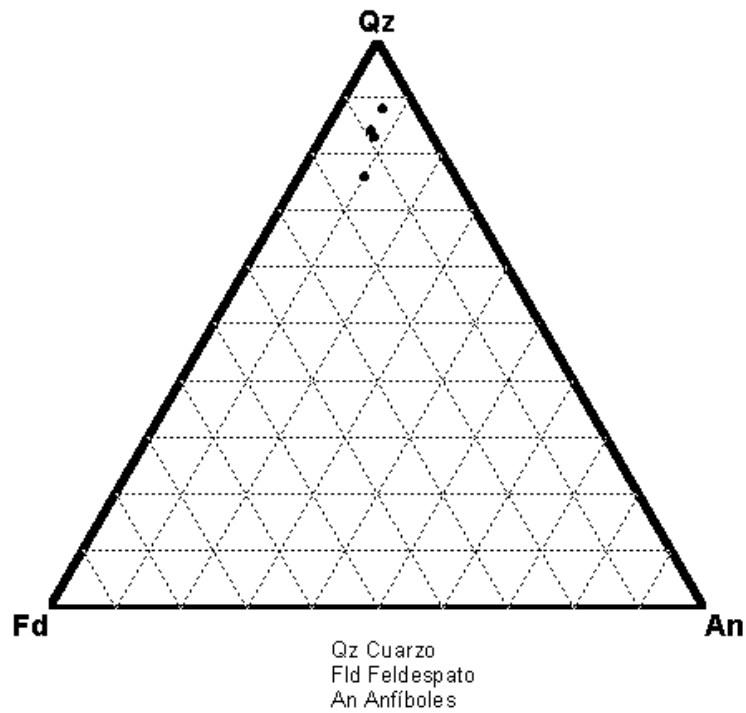


Figura 48. Diagrama ternario (A) e histograma (B) de las muestras del cordón de duna.

(A) **MINERALOGÍA DE LAS MUESTRAS DE LA DUNA PARABÓLICA**

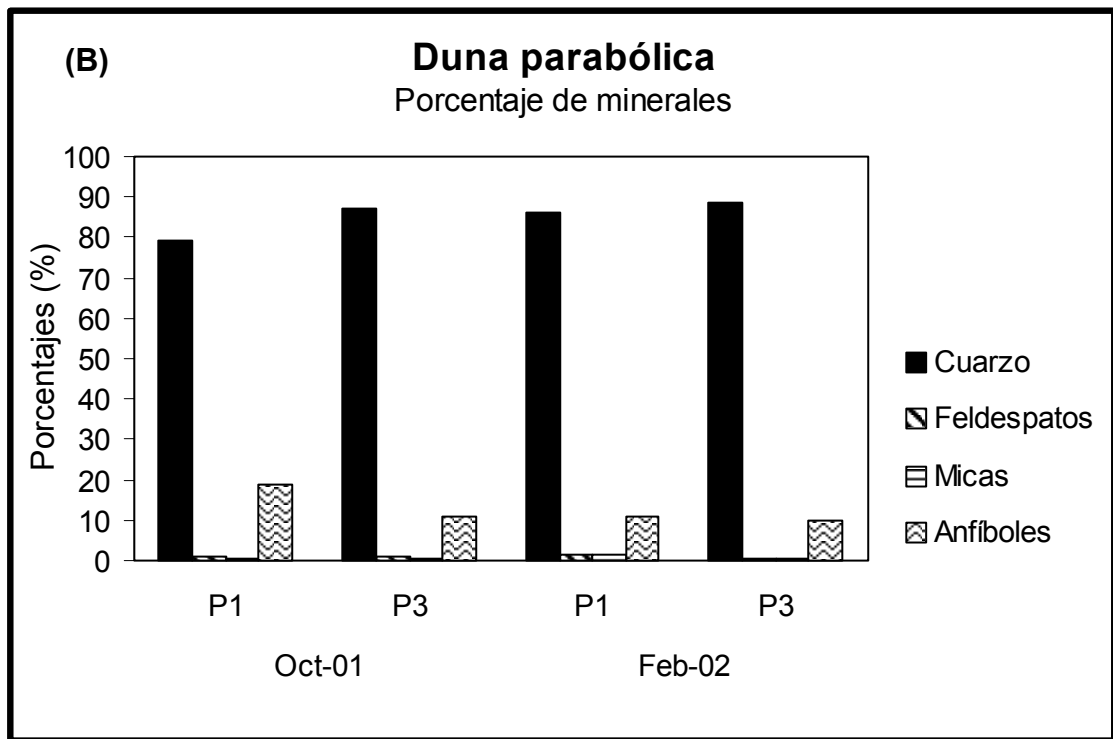
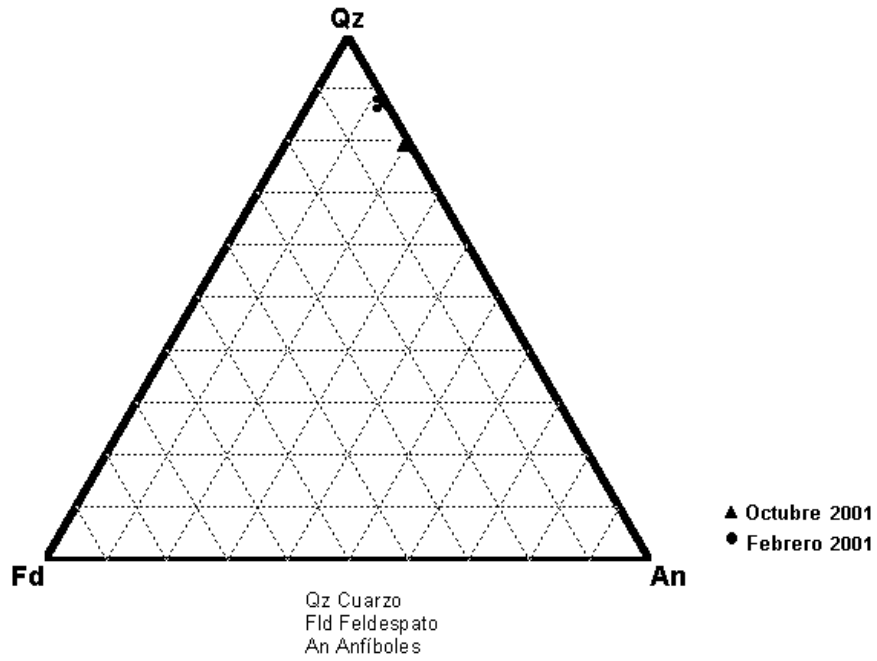


Figura 49. Diagrama ternario (A) e histograma (B) de las muestras de la duna parabólica.



(A) MINERALOGÍA DE LAS MUESTRAS MIEMBROS TERMINALES  
FOURIER FORMA DE GRANO (2001)

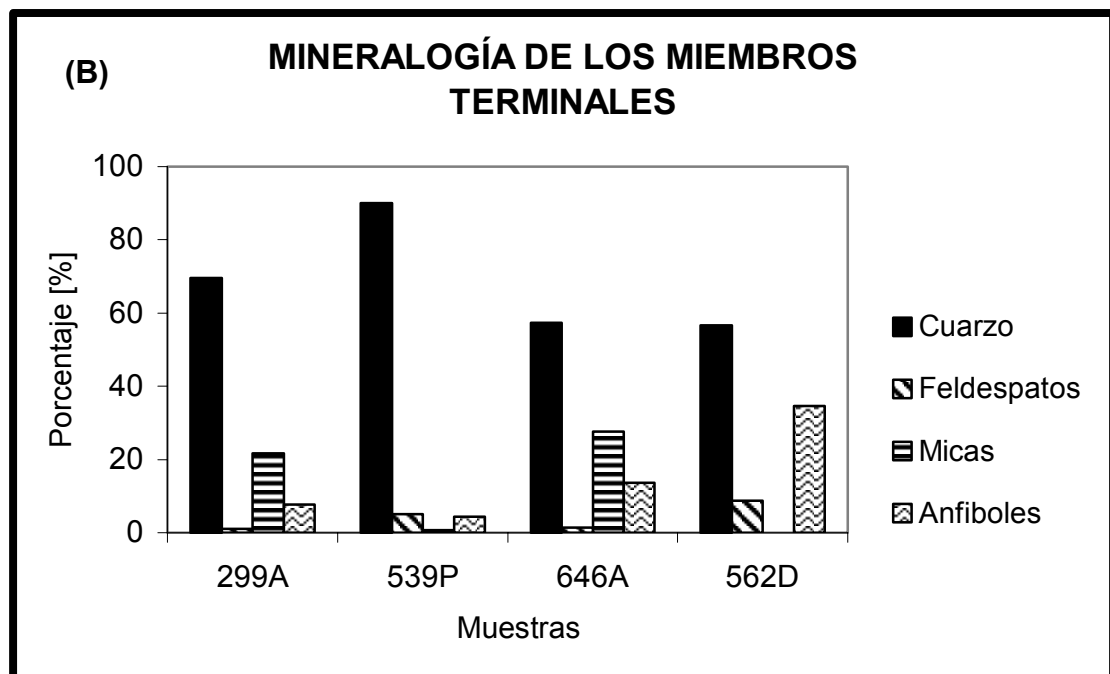
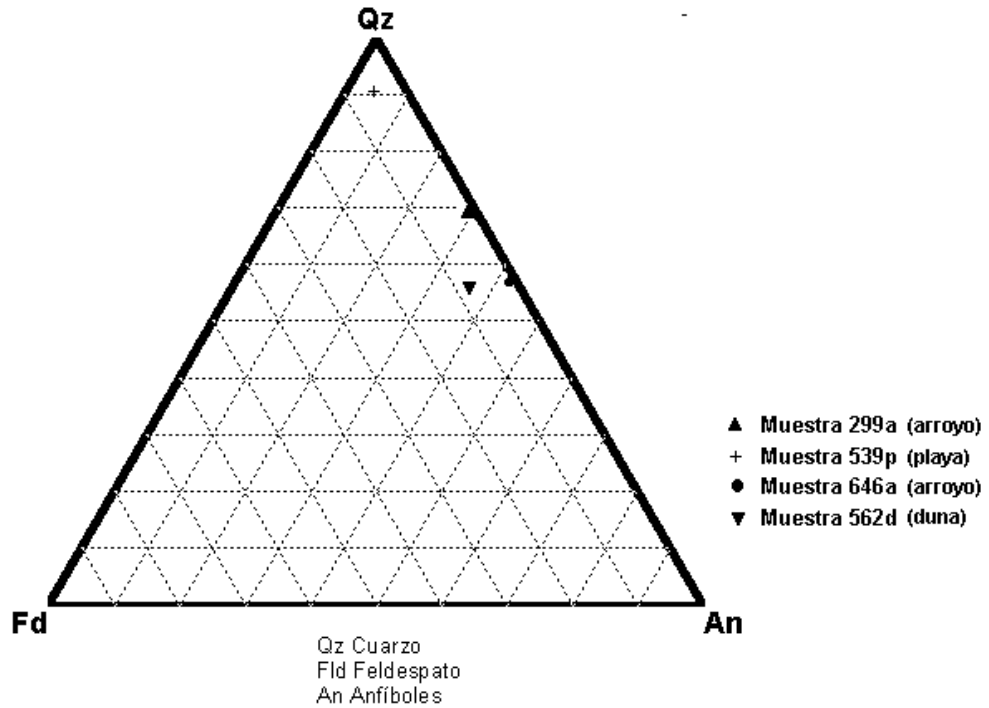


Figura 50. Diagrama ternario (A) e histograma (B) de las fuentes de abastecimiento o miembros terminales.

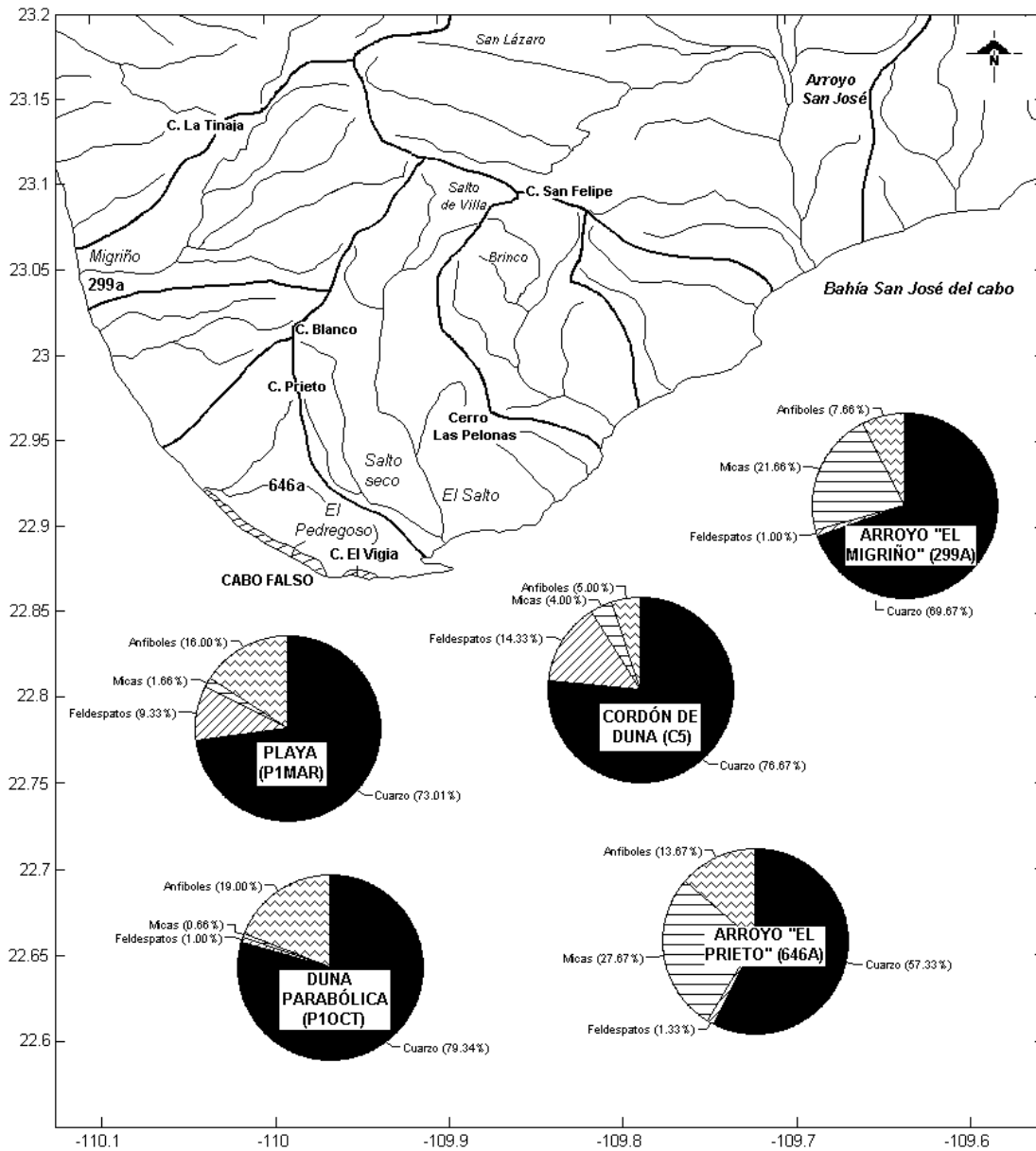


Figura 51. Gráficas de pastel de la composición mineralógica (%) de las muestras más representativas de cada uno de los ambientes sedimentarios.

#### 4.5 Análisis de Fourier Forma de Grano

##### 4.5.1 Introducción

Este análisis nos permitió identificar las fuentes de abastecimiento de arena de la playa y de los depósitos eólicos de Cabo Falso, y además, nos proporcionó la dirección del transporte de sedimento a lo largo de la costa. Para este análisis se consideraron 63

muestras que se obtuvieron en diferentes ambientes sedimentarios, de las cuales 20 muestras son de playa, 7 de duna, 20 de arroyo y 16 de la plataforma continental interna (Figura 17).

#### 4.5.2 Fuentes potenciales

Las fuentes potenciales o miembros terminales se obtuvieron a partir del programa o algoritmo “vectores” (Full *et al.*, 1982). Se identificaron 4 muestras que tienen las características de forma más diferentes, y que son las localidades con un gran potencial de ser las que abastecen la mayor parte del sedimento al sistema costero en estudio. A estas muestras se les denominaron “miembros terminales” y fueron colectadas en los arroyos “El Prieto” (646a) y “El Migriño” (299a), en la playa El Tule (539p) y en una duna antigua (562d) (Figura 52), la cual tiene una edad aproximada de 3,000 años (J. Murillo Jiménez, comunicación personal). Dichas muestras representan la composición de formas más diferente de entre el total de muestras, y además están distribuidas principalmente en la costa del Pacífico, a excepción de la muestra 539, la cual se ubica en la costa del Golfo de California.

El resultado del análisis de la composición de forma, del total de las muestras analizadas, es una mezcla del material que drena por las áreas en donde fueron colectadas las muestras miembros terminales, así como de material producido por la erosión de promontorios rocosos a lo largo de la zona costera, de material que llega al sistema por medio del transporte litoral, y del material que producen las pequeñas cuencas de drenaje locales.

#### 4.5.3 Análisis de factores

En la Figura 53 observamos que de acuerdo con los valores de elongación (factor 2), las muestras caen en un mismo rango que va de  $-2$  a  $2$ , lo que nos indica que dominan los granos moderadamente elongados. Estos valores nos muestran que existe una alta probabilidad de que los sedimentos colectados en los diferentes ambientes sedimentarios provengan de rocas con la misma historia genética.

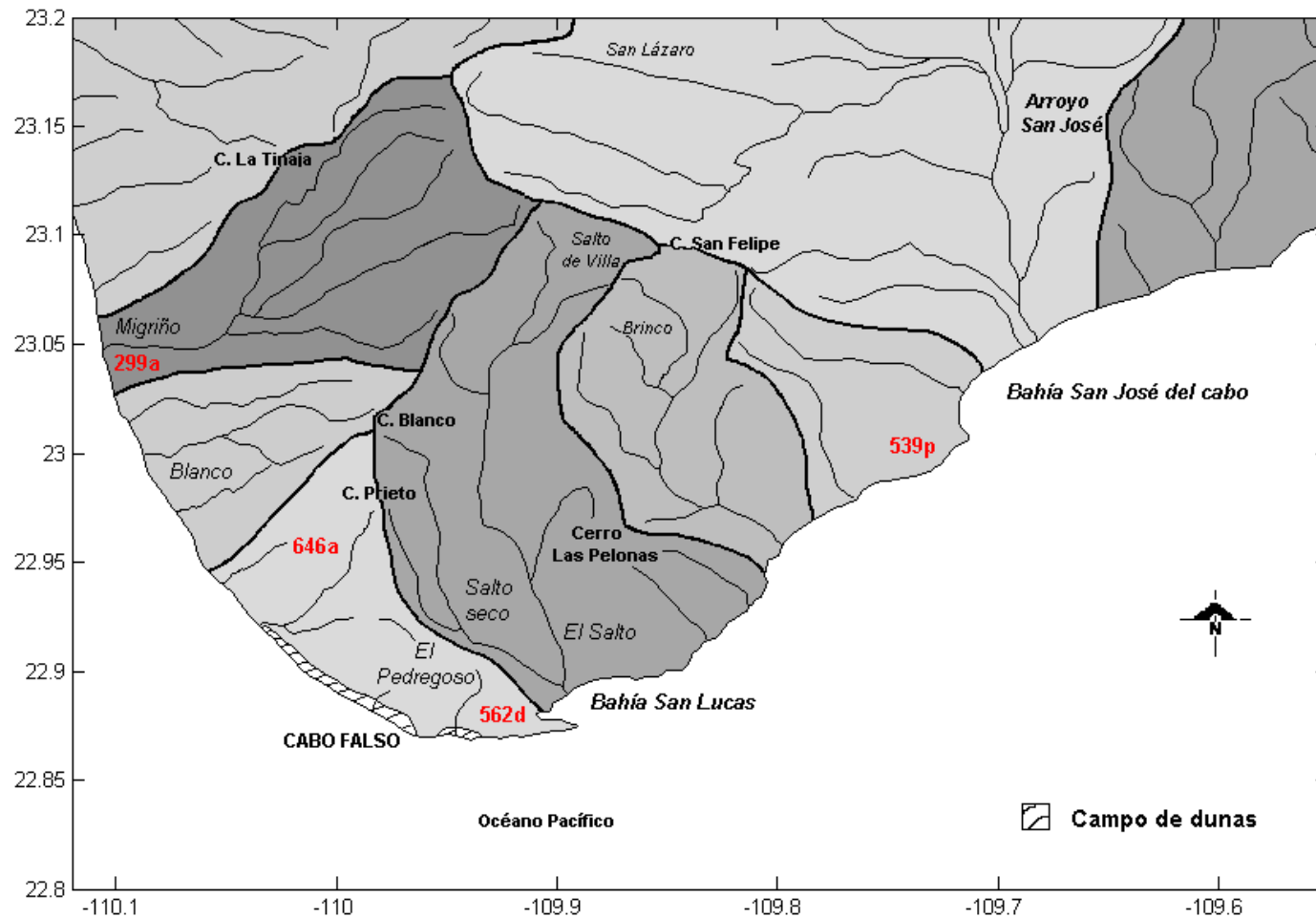
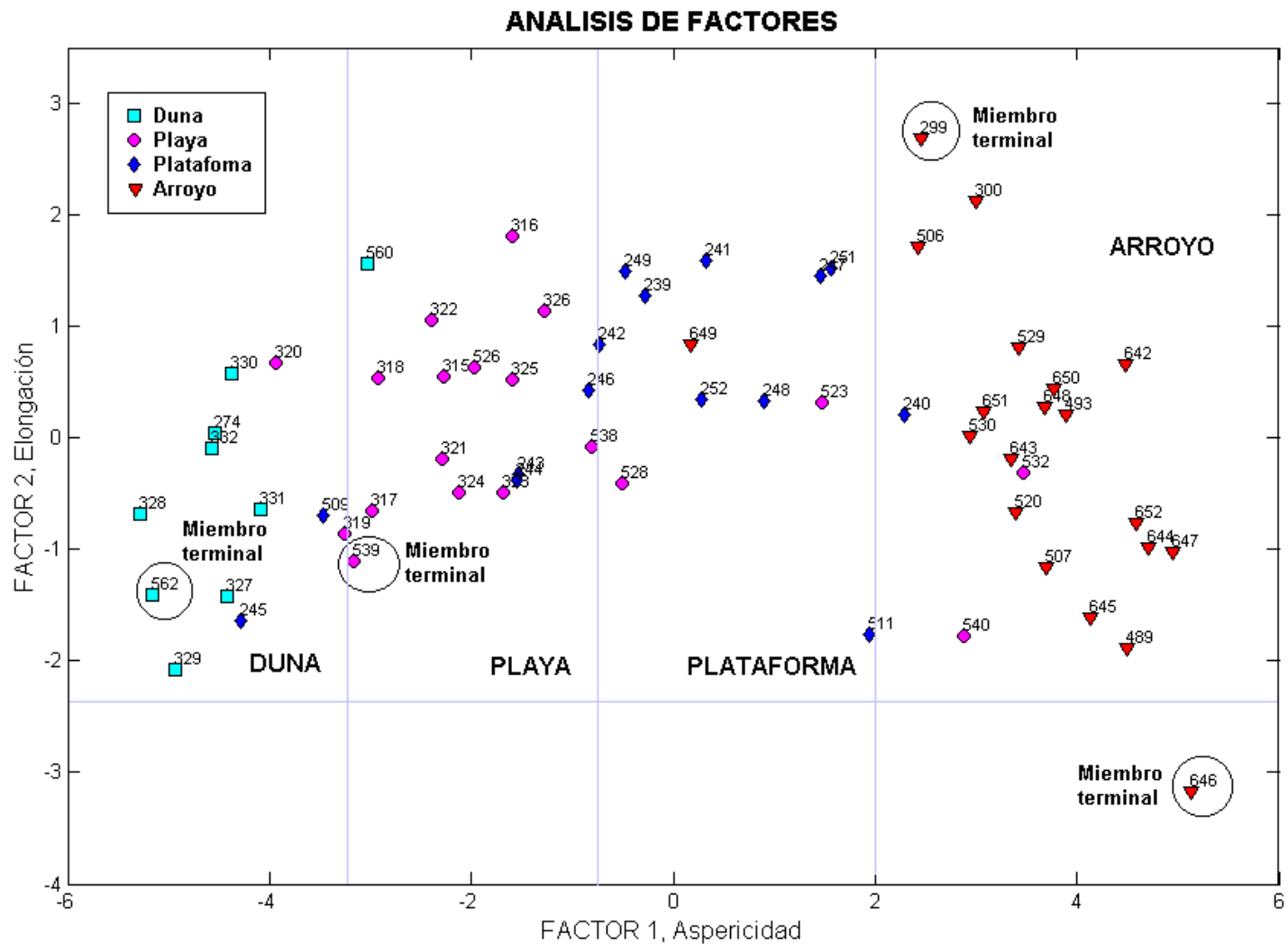


Figura 52. En rojo se muestra la ubicación de las muestras miembros terminales y en color gris se indican las cuencas hidrológicas de la región (modificado de mapa topográfico, INEGI 1981).

Con respecto a la aspericidad (factor 1), se puede observar en la Figura 53 que los ambientes sedimentarios se diferencian claramente, encontrando que las muestras de duna y playa tienen valores de aspericidad bajos, y las de plataforma y arroyo una aspericidad alta. Este comportamiento en las muestras de playa se debe a que este ambiente está expuesto a una alta energía de oleaje, la cual está actuando en el sedimento de manera directa, provocando que el cuarzo presente en las muestras de playa sea menos áspero. En consecuencia las muestras de duna, que son abastecidas directamente por las playas (Carter, 1988), también tienen valores de aspericidad bajos. Los sedimentos de arroyo tienen las superficies más ásperas en comparación con el material de los demás ambientes sedimentarios. La explicación de este comportamiento es que la distancia que recorrieron hasta el lugar en donde fueron depositados no fue suficiente para pulir las aristas de los granos, y demuestra que son sedimentos de primer ciclo (desprendidos de la roca original). Con relación a las muestras de plataforma, algunas de éstas que se localizan enfrente de las descargas de los arroyos (muestras 251 y 511) conservan las características del sedimento del arroyo que las abastece. El resto de las muestras de plataforma, en general, presentan una aspericidad menor a las de arroyo, y muy similar a las de playa. Esto se debe probablemente a que estuvieron un tiempo expuestas a la energía de oleaje antes de llegar a la plataforma.



#### 4.5.4 Proporciones en Cabo Falso

El programa de “vectores” (Vector 2), generó datos cuantitativos de los 4 miembros terminales expresados en porcentaje. Los resultados muestran que la composición de la playa de Cabo Falso refleja directamente la composición del material de la duna antigua (muestra 562d), encontrando porcentajes de 24-41% de esta muestra en las muestras de playa y de 34-52% en las muestras de duna del área de estudio (Figura 54, Tablas 11 y 12). Éstas dunas antiguas se extienden a un costado de las dunas modernas del área, encontrándose muy probablemente en algunas partes como base de las dunas activas o modernas. Es probable que estas dunas antiguas están siendo disectadas por los arroyos, y este sedimento está llegando a las dunas modernas de la zona.

El arroyo “El Migriño”, que drena al norte del área de estudio y es uno de los miembros terminales (muestra 299a), también representa importancia en la composición de las muestras de playa y duna de la zona de estudio, mostrando porcentajes de entre 24-38% de esta fuente en las muestras de playa y de entre 10-23% de las muestras de duna del área de estudio (Figura 55, Tablas 11 y 12). Este arroyo, aunque drena una cuenca relativamente pequeña (Tabla 13), está contribuyendo de manera importante a los depósitos eólicos y playa de Cabo Falso.

Tabla 11. Proporciones de las muestras de playa con respecto a cada uno de los miembros terminales.

MES	PERFIL	Miembro 299	Miembro 646	Miembro 562	Miembro 539
Localidad		Arroyo “El Migriño”	Arroyo “El Prieto”	Duna antigua “El Pedregal”	Playa “El Tule”
Marzo 2001	P1	37.02	6.52	35.30	21.15
	P2	30.40	14.64	41.38	13.58
	P3	30.17	6.92	36.62	26.29
Junio 2001	P1	24.36	11.89	36.92	26.84
	P2	25.52	7.38	39.22	27.87
	P3	38.67	0.00	34.52	26.81
Noviembre 2001	P1	24.89	18.35	32.70	24.06
	P2	34.79	11.13	25.21	28.87
	P3	26.82	19.51	41.00	12.67
Febrero 2002	P1	36.85	7.33	25.90	29.92
	P2	34.06	14.50	24.52	26.92
	P3	28.01	19.72	36.37	15.90

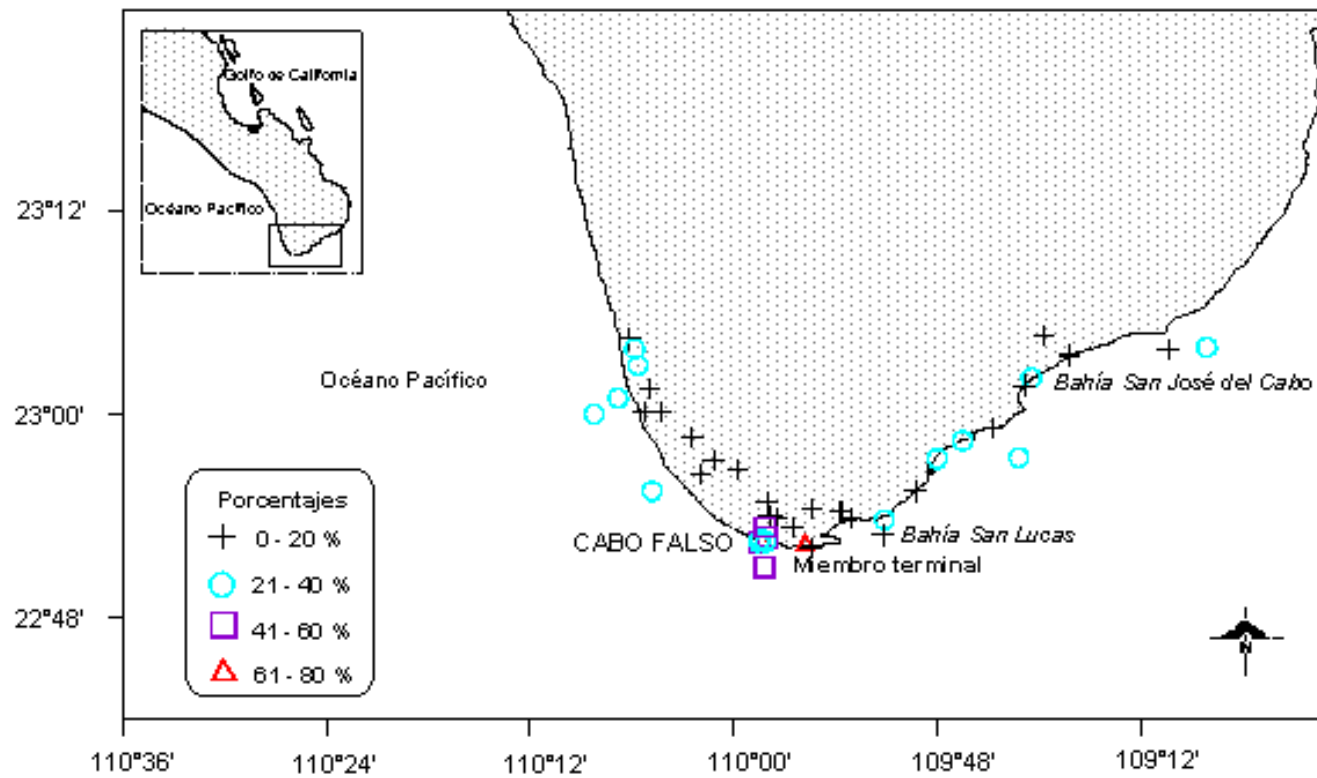


Figura 54. Gráfica de las proporciones del sedimento de la duna antigua (562d), con respecto al total en las otras muestras.



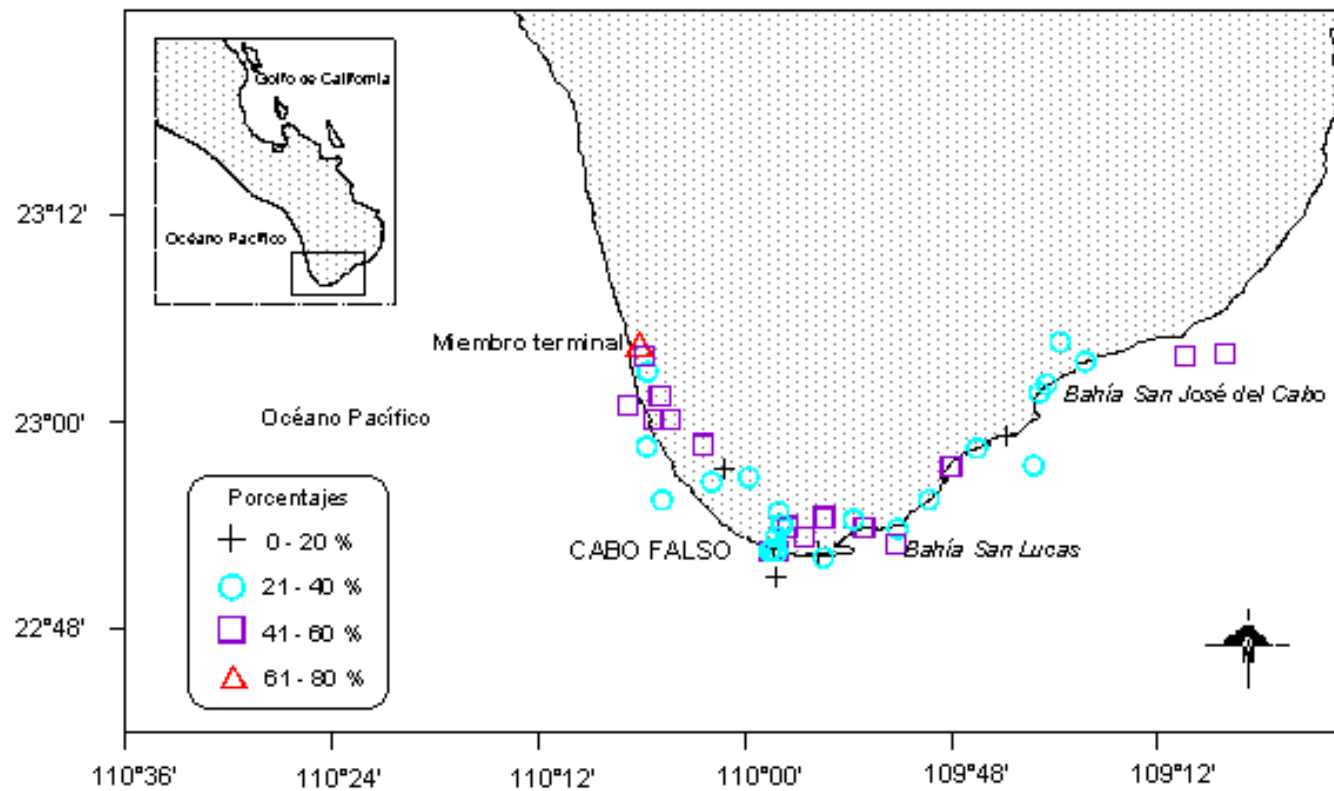


Figura 55. Gráfica de las proporciones del sedimento del arroyo “El Migriño” (299a), con respecto al total en las otras muestras.

Tabla 12. Proporciones de las muestras de duna con respecto a cada uno de los miembros terminales.

MES	MUESTRA	Miembro 299	Miembro 646	Miembro 562	Miembro 539
Localidad		Arroyo “El Migriño”	Arroyo “El Prieto”	Duna antigua “El Pedregal”	Playa “El Tule”
Octubre 2001	Duna parabólica P1	16.96	3.58	34.24	45.23
	Duna parabólica P3	23.90	0.00	38.26	37.84
Febrero 2002	Duna parabólica P1	10.13	2.83	52.08	34.96
	Duna parabólica P3	20.20	1.43	49.37	29.01
	Cordón de duna 1	19.31	6.42	51.51	22.76
	Cordón de duna 2	19.98	3.78	40.30	35.94

Por lo tanto, podemos decir que el sedimento presente en la playa y dunas de Cabo Falso es una mezcla del material aportado por la duna antigua y por el arroyo “El Migriño”. El sedimento del arroyo “El Migriño” es transportado hacia la costa por las fuertes corrientes causadas por lluvias torrenciales; y el de la duna antigua (localizada al este del área, 562d), se debe a la erosión que probablemente está ocurriendo, en consecuencia el sedimento erosionado se está depositando en las dunas recientes de Cabo Falso.

A su vez, el miembro terminal 539, a pesar de localizarse en el lado opuesto al área de estudio (frente a la descarga del arroyo “El Tule”), aportó información importante, ya que encontramos porcentajes de entre 12-29% en las muestras de playa y de entre 22-37% en las muestras de duna del área de estudio (Figura 56, Tablas 11 y 12). Dicho comportamiento nos indica que las características litológicas en ambas zonas, tanto del lado del Pacífico como del lado del Golfo de California son similares. Por lo tanto, se infiere que la roca productora de sedimento en las dos zonas tiene una historia genética similar. El sedimento que se está produciendo de esta roca, con características similares en la forma del cuarzo, está siendo transportado por los arroyos locales, tanto a la zona costera de San José del Cabo como a la de Cabo Falso.

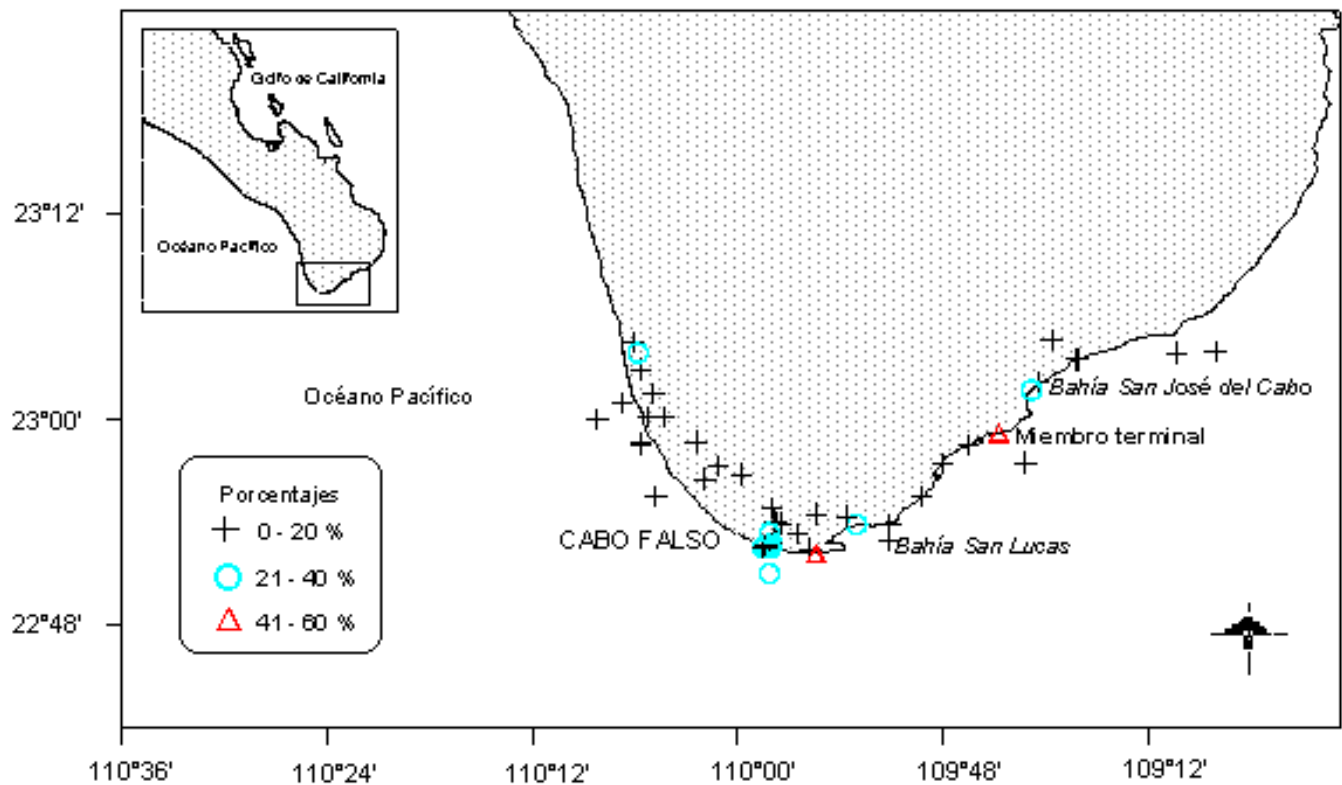


Figura 56. Gráfica de las proporciones del sedimento de la playa “El Tule” (539p), con respecto al total en las otras muestras.

La contribución del arroyo “El Prieto”, el cual es representado por la muestra miembro terminal 646a y se localiza cerca del área de estudio, no revela importancia, ya que los porcentajes que contienen las muestras de la zona costera de Cabo Falso son relativamente bajos entre 0-19% en las muestras de playa y entre 0-6% en las muestras de duna de la zona de estudio (Figura 57, Tablas 11 y 12). Esto probablemente se deba a que la descarga de este arroyo drena escasamente o no drena al Océano Pacífico, debido a la presencia de cordones de dunas que bloquean su paso, provocando que el agua se infiltre en estos depósitos (Figura 39). Además, la cuenca de drenaje es muy pequeña, pues abarca un área de aproximadamente 94.94km<sup>2</sup>.

Tabla 13. Estimación del área en km<sup>2</sup> de cada una de las cuencas delimitadas en la región.

NOMBRE DE LA CUENCA	ÁREA[km <sup>2</sup> ]
El Migriño	168.67
El Blanco	79.41
El Prieto	94.94
El Salto y Salto Seco	235.39
El Brinco	124.03
San Felipe	74.74

#### 4.5.5 Transporte de sedimento

Por las características morfológicas propias de la zona costera y su composición textural y de forma del sedimento, se delimitaron 3 áreas o celdas con características particulares: la celda de Cabo Falso (Pacífico), la de Cabo San Lucas y la de San José del Cabo (Golfo de California) (Figura 58). De acuerdo con la información de la forma de grano de los sedimentos identificamos un transporte litoral de sedimentos a partir de la celda de Cabo Falso hacia la celda de Cabo San Lucas, y a partir de la celda de San José del Cabo también hacia la celda de Cabo San Lucas (Figura 59). Es decir que las aguas del Pacífico y del Golfo de California convergen al sur de la península y están transportando sedimento. Y eso implica que la dinámica del sedimento en la celda de Cabo San Lucas sea compleja, influenciada por las características oceanográficas propias tanto del Océano Pacífico como del Golfo de California.

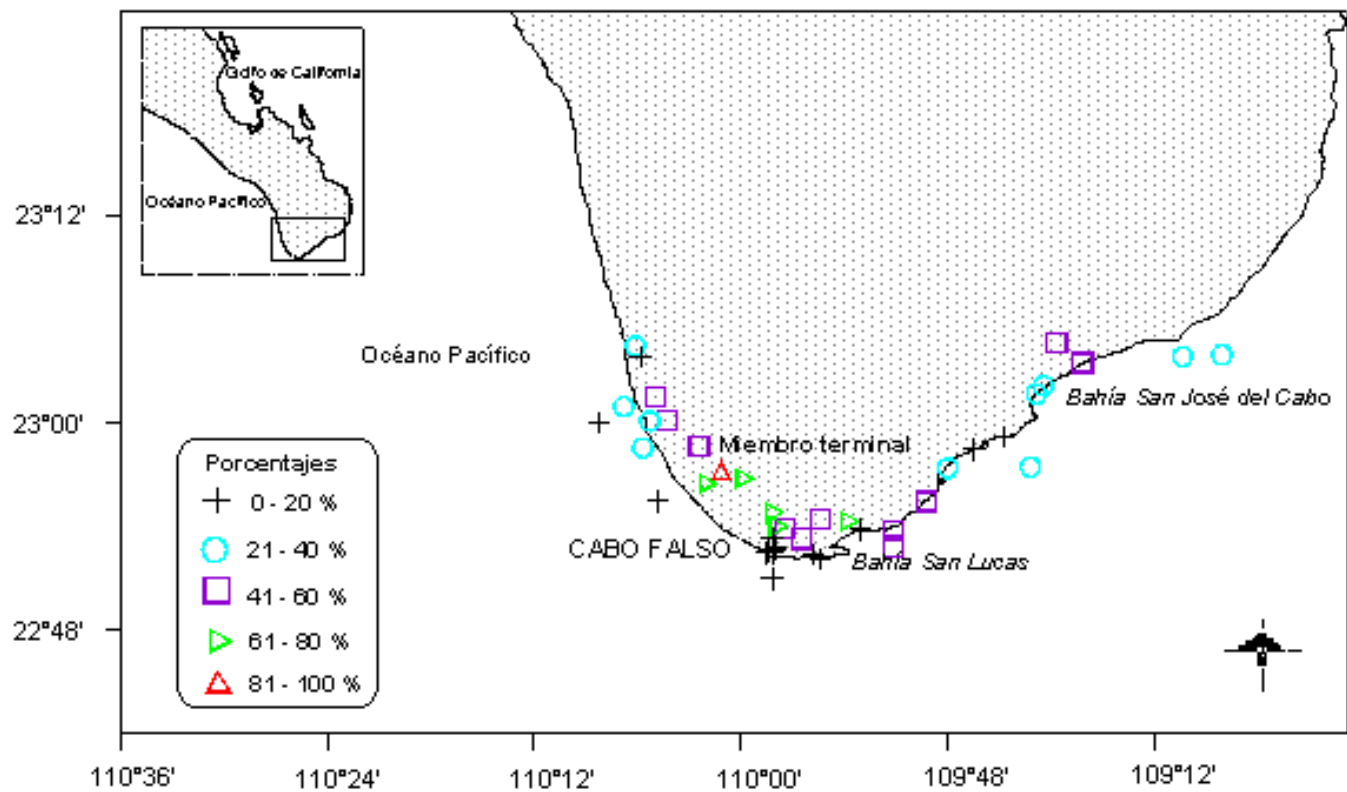


Figura 57. Gráfica de las proporciones del sedimento del arroyo “El Prieto” (646a), con respecto al total en las otras muestras.

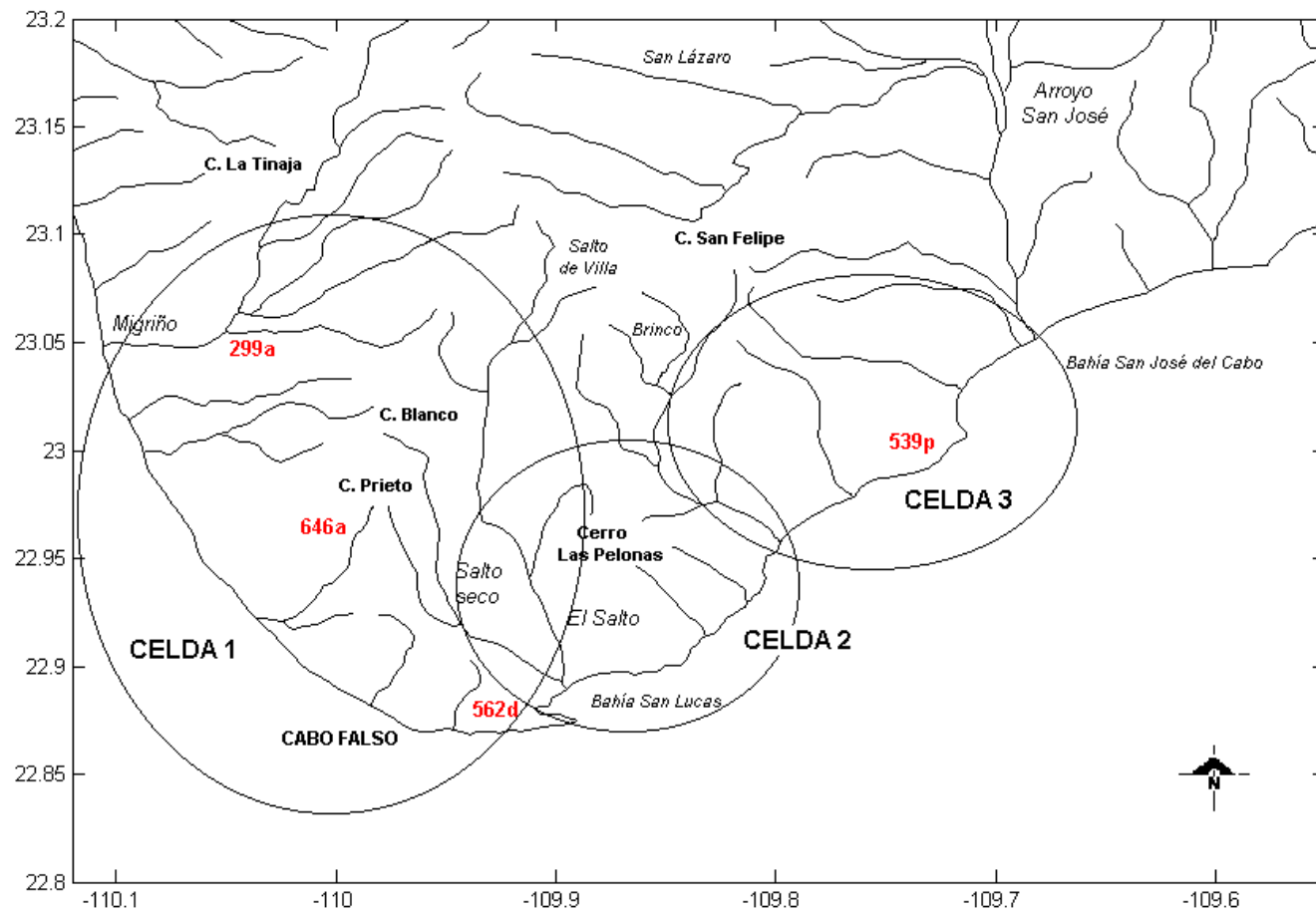


Figura 58. Delimitación esquemática de las 3 celdas: (a) celda 1 Cabo Falso, (b) celda 2 Cabo San Lucas y (c) celda 3 San José del Cabo.

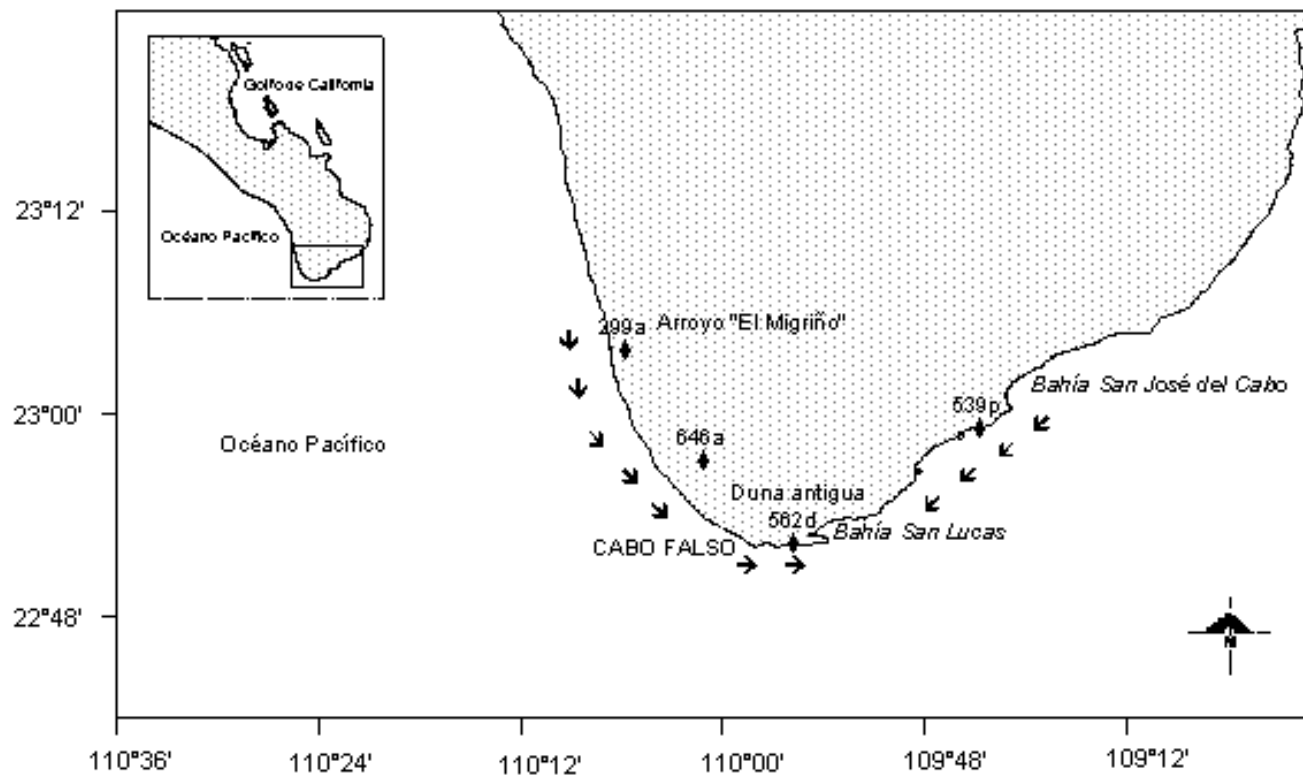


Figura 59. Direcciones inferidas del transporte litoral de sedimento en la región estudiada. También se muestra la ubicación de los miembros terminales.

## V. DISCUSIÓN

### 5.1 Cambios en la morfología de las dunas

Las dunas en el área de estudio, comúnmente de forma parabólica y dunas trepadoras, se han desarrollado como el resultado de la acción de los vientos del noroeste. Esto coincide con la orientación de las dunas y con una acumulación de material sedimentario en la parte sureste del área, influenciada a su vez por la presencia del cerro “El Vigía”. Esta acumulación de sedimento ha sido fijada por la presencia de vegetación (Figura 18). Sin embargo, parte de este sedimento se está perdiendo por el efecto del viento y por la presencia de riscos, y está siendo depositada en la base de los riscos (Figura 21).

La presencia de vegetación en el desarrollo de las dunas es un factor importante, ya que ésta tiende a disminuir el movimiento de la arena. En el monitoreo de fotografías que se llevó a cabo en este estudio, se observó que hay una pérdida de vegetación principalmente en la zona de actividad recreativa. Observamos en las fotografías aéreas monitoreadas parches de vegetación cortados (Figuras 22 y 23). Estos parches cortados se pueden deber a la presión antropogénica que se está dando en el área de estudio. La circulación de las cuatrimotos, principal actividad recreativa en la zona, comúnmente destruye la vegetación, y esto ocasiona un incremento en la densidad de sedimento suelto o poco compactado, y esta arena inmediatamente se vuelve susceptible a ser transportada por viento (Tikkanen y Heikkinen, 1995).

En el cordón de duna, localizado en la zona de actividad recreativa, se observó en el monitoreo de fotografías un cambio en la morfología, principalmente en el origen caminos y en las dimensiones de éstos. Dichos caminos presentaron, en más de un año de monitoreo, un aumento en el ancho de los mismos, causado esto por el frecuente paso de las cuatrimotos por esta zona. A su vez, los vientos (5.8 m/s) que se presentan en esta zona también modificaron la morfología de la duna, ya que se vieron favorecidos por la pérdida de vegetación para transportar mayor cantidad de sedimento. Debido a que no contamos con fotografías de años anteriores, en los que aún no circulaban las cuatrimotos por el cordón de duna, y con esto poder compararlas con las actuales, no podemos decir como se encontraba la morfología del cordón en aquel entonces. Sin embargo, podemos señalar que las



cuatrimotos estarían influyendo directamente, la probable erosión del cordón de duna, por el paso continuo sobre la vegetación, y que muy probablemente éstas mantendrían su forma original, si las cuatrimotos no hubieran circulado por las dunas por un lapso de tiempo de aproximadamente 8 años (FONATUR, 2001),

## 5.2 Erosión y depositación en playa y duna

Una playa arenosa, como la presente en Cabo Falso, no se considera estática. Su perfil, en un tiempo específico, representa el equilibrio dinámico del movimiento de sedimento, tanto en dirección perpendicular como en dirección paralela a la costa (Barnes, 1977). La escala de estos movimientos varía de unas cuantas horas durante tormentas severas o huracanes, hasta meses en el caso de las variaciones estacionales (verano / invierno). Los resultados obtenidos con respecto a los perfiles de playa y duna, así como los de aporte de sedimento, sugieren que hay distintos patrones estacionales en el aporte de sedimento a la playa y duna de Cabo Falso. En general, la acumulación de sedimento en la playa se presentó durante el periodo diciembre 2001-febrero 2002, y la erosión durante el periodo junio-diciembre del 2001. Este periodo de acumulación de sedimento lo hubiéramos esperado durante la época de verano (periodo junio-diciembre), en donde generalmente las condiciones climáticas son de calma, las olas son de poca altura y la playa es más ancha, lo cual favorece a la acumulación de sedimento (Seco, 1994). Sin embargo, durante este periodo encontramos un proceso de erosión, el cual probablemente está relacionado con el paso del huracán *Juliette* en septiembre del 2001. Provocando éste condiciones de invierno, pues el oleaje de alta energía removió la arena de la pendiente de la playa y de la berma, disminuyendo el ancho de la playa, e iniciando así un proceso erosivo. El periodo de acumulación de sedimento definido por los perfiles de playa (diciembre-febrero), ocurrió a pesar de tener condiciones de invierno y de ser la época de mayor afluencia de turismo a la zona (FONATUR, 2001; ver Figura 36). Esto nos indica que la arena que fue transportada fuera del sistema durante el huracán actualmente está regresando, y, junto con el probable aporte de arena de la duna frontal, está contribuyendo a que la playa se esté recuperando de manera natural de la erosión provocada por el huracán. Este aporte de sedimento de la duna frontal a la playa coincide con la

pérdida de volumen que se encontró en los perfiles de duna de la zona de actividad recreativa durante el periodo posterior al huracán *Juliette*. Adicionalmente, la circulación de las cuatrimotos probablemente también colaboró con esta pérdida de material.

En los perfiles de duna de la zona protegida tenemos un comportamiento muy diferente al que se encontró en los perfiles de la zona de actividad recreativa. Encontramos que durante el periodo junio-diciembre 2001 (que incluye al huracán *Juliette*) en esta zona se observó una acumulación de sedimento, al igual que en el periodo posterior al evento (diciembre-febrero). Este comportamiento probablemente se debe a que, a pesar de que el huracán afectó a todo el campo de dunas, los vientos transportaron sedimento específicamente hacia esa zona. Es decir, que el transporte neto de sedimento por el huracán haya sido del sureste hacia el noroeste, pues esa dirección coincide con la trayectoria del huracán. Sin embargo, dicha situación no puede ser comprobada con nuestros datos pues no contamos con el registro de viento durante las horas que duró el evento (la estación meteorológica se destruyó), y por lo tanto dicha explicación debe ser tomada únicamente como una suposición.

En el monitoreo de las fotografías tomadas en la zona de la post-playa y duna frontal, el perfil erosionado por el paso del huracán *Juliette* que se observa (Figura 37) coincide con el periodo de erosión que también encontramos en los perfiles topográficos de la playa y duna (Figura 33). A partir del paso del huracán, observamos en las fotografías el desarrollo de un escarpe de erosión en la base de la duna frontal, y que el ancho de la playa se redujo significativamente. Ambas características morfológicas se debieron principalmente al efecto que tuvo el oleaje de tormenta y los fuertes vientos sobre la costa. En esta zona del Océano Pacífico, principalmente durante tormentas, la energía del oleaje provoca erosión en la base de la duna frontal, removiendo sedimento de la duna y regresándolo atrás de la rompiente (Nordstrom y Gares, 1990). En la última fotografía del monitoreo (diciembre 2001), a pesar de tener condiciones de invierno (alta energía de oleaje), el perfil se comienza a recuperar de la erosión provocada por el huracán, coincidiendo este comportamiento también con el periodo de acumulación de sedimento definido en los perfiles topográficos de playa. Esto nos indica nuevamente que la duna frontal está

aportando sedimento hacia la playa, colaborando a que el escarpe de erosión se suavice. Por lo tanto, las condiciones extremas de oleaje y viento provocadas por el paso del huracán *Juliette* fueron los principales factores que modificaron la morfología de la playa y duna de Cabo Falso, y la actividad recreativa fue un factor secundario, originando caminos en el cordón de duna y con esto modificando la cobertura vegetal.

### 5.3 Velocidad y dirección del viento

Los datos de viento para el área de estudio indican que los vientos del noroeste pueden ocurrir con alta frecuencia e intensidad durante la época de verano (Figura 38). El viento es el agente de transporte para que las dunas lleguen a desarrollarse, y también el que determina la forma y el movimiento de la duna (Barnes, 1977). Entonces en las dunas de Cabo Falso encontramos que la dirección de estos vientos (noroeste), la cual es paralela a la costa, está influyendo directamente en la forma, orientación y movimiento de las dunas, dando como resultado dunas de tipo parabólico y dunas trepadoras, con un movimiento del sedimento en dirección sureste.

Con respecto a la velocidad del viento, encontramos valores que, de acuerdo a la velocidad mínima que se requiere para que se inicie movimiento del sedimento de dunas (4.5 m/s, Bagnold, 1941), nos indican un movimiento de sedimento en las dunas de Cabo Falso durante el verano.

### 5.4 Granulometría

Las características texturales de los sedimentos de las playas y dunas dependen de la naturaleza de la fuente de abastecimiento, de la energía de oleaje y de la energía de los vientos presentes (Carter, 1988). Los resultados muestran que el arroyo “El Migriño” (299a), tiene una media en el tamaño de sedimento que cae en el rango de arenas gruesas a muy gruesas, las cuales están abasteciendo a la playa, en donde encontramos en casi todas las muestras una media también de arenas gruesas. Una vez que este tamaño de sedimento llega a la playa por medio de las corrientes litorales y la energía de oleaje, posteriormente, dependiendo de la velocidad del viento, éste transporta tamaños más finos hacia las dunas, en donde encontramos sedimento principalmente de arenas medias. Por lo tanto, este arroyo

es de gran importancia para Cabo Falso, tanto en la composición textural del sedimento, como en la fuente de aporte, información que se describe más ampliamente en las fuentes de abastecimiento definidas mediante el análisis de Fourier Forma de Grano.

En las muestras de playa la textura del material intermareal es el resultado de la energía del oleaje, el cual ejerce una influencia directa en el tamaño de sedimento, ya que a mayor energía del oleaje el sedimento tenderá a ser más grueso. En las muestras de la zona intermareal de la playa de Cabo Falso encontramos sedimento principalmente grueso. Y la textura del material sedimentario de la berma también está siendo influenciada por la energía de oleaje y además por la incidencia del viento.

La mayoría de los sedimentos eólicos pueden ser vistos como una mezcla de una variedad de proporciones transportadas por saltación (Lancaster, 1995). Las arenas transportadas por saltación comúnmente tienen un rango de tamaño entre 125-250  $\mu\text{m}$  (arena media). En las dunas de Cabo Falso, el tamaño de sedimento más frecuente es el de arenas medias, por lo que, con base en lo anteriormente mencionado, el transporte del material está siendo principalmente por saltación. Este comportamiento coincide con lo que menciona Lancaster (1995), en el sentido de que el proceso dominante en el transporte de arena por viento es la saltación.

### 5.5 Composición mineralógica

Los porcentajes en los minerales son relativamente similares en la playa y en la duna parabólica, encontrando una predominancia de cuarzo. Este comportamiento se explica porque en la actualidad la playa está aportando material a los depósitos eólicos y por consiguiente la mineralogía es muy similar en ambos ambientes. En el caso particular de Cabo Falso el material de la playa está siendo aportado principalmente por los arroyos que se ubican al norte. El cuarzo y los anfíboles se encontraron tanto en los arroyos como en la playa y duna de Cabo Falso. Sin embargo, las micas están casi ausentes en la playa y duna del área de estudio, y al mismo tiempo forman parte importante en la composición de los arroyos, lo cual puede deberse a que por su forma de hojuelas las micas son fácilmente transportadas, y ya sea por el viento o el oleaje y las corrientes, éstos las podrían

estar sacando del área de estudio, o bien las micas no están llegando a la zona costera y se están quedando en zonas más profundas.

#### 5.6 Fuentes de abastecimiento de material sedimentario

A partir del análisis de Fourier Forma de Grano y al análisis estadístico aplicado en las muestras de los diferentes ambientes, se infiere que la duna antigua es una fuente de aporte de sedimento a nivel local para los depósitos eólicos recientes de Cabo Falso. Estas dunas antiguas están siendo disectadas o fueron disectadas por los arroyos localizados al norte del área, y en consecuencia está ocurriendo una pérdida de sedimento en este ambiente y parte de este sedimento está llegando al mar, y posteriormente el oleaje lo está depositando en la playa y dunas recientes del área de estudio.

Otra fuente de abastecimiento importante, pero a nivel regional es la del arroyo “El Migriño”, el cual, durante épocas de lluvias o de tormentas, aporta grandes cantidades de sedimento hacia la zona costera. Parte de éste sedimento es transportado por corrientes litorales hacia el sur de la región, y es depositado en la playa de Cabo Falso y playas más al sur. Por lo tanto, podemos decir que el sedimento presente en Cabo Falso es una mezcla tanto del sedimento de la duna antigua como del arroyo “El Migriño”, el cual está siendo aportado a la zona por diferentes agentes de transporte (descargas fluviales, corrientes litorales y oleaje). En el caso del sedimento de la duna antigua, que está llegando a las dunas recientes, el principal agente de transporte son las descargas fluviales. Y el sedimento del arroyo “El Migriño” está llegando al área de estudio por medio de las corrientes litorales, y posteriormente el oleaje se encarga de que el sedimento sea depositado en la playa de Cabo Falso.

## VI. CONCLUSIONES

1. La morfodinámica de los depósitos eólicos y de la playa de Cabo Falso está determinada, en parte, por las condiciones de oleaje, por la velocidad y dirección del viento, y por la disponibilidad de sedimento, y en menor proporción por la actividad recreativa.
2. De acuerdo a la información geomorfológica, se concluye que las dunas presentes en el área de estudio son dunas parabólicas, cordones de duna y dunas trepadoras, las cuales están influenciadas por la velocidad y dirección del viento, por el sedimento disponible, y por la cobertura vegetal.
3. El monitoreo anual de los perfiles topográficos demostró que el periodo de acumulación de sedimento en la playa de Cabo Falso se dió durante diciembre 2001 - febrero 2002, y el de erosión durante junio 2001 - diciembre 2001, acrecentándose este último proceso de manera significativa por el paso del huracán Juliette. En los depósitos eólicos, encontramos en la zona de actividad recreativa durante los dos periodos de monitoreo una pérdida de material sedimentario, mientras que en la zona protegida encontramos acumulación de sedimento.
4. La duna frontal tuvo un papel sedimentológico importante, ya que fue una fuente de aporte de material sedimentario hacia la playa, colaborando a que la playa se recuperará de manera natural de la erosión provocada por el huracán Juliette.
5. Los vientos durante el verano soplan principalmente del noroeste (paralelos a la línea de costa). De acuerdo a la relación que existe entre la velocidad del viento y el movimiento de sedimento, encontramos que en Cabo Falso hay un movimiento constante de sedimento. Este viento está siendo el agente principal de transporte para que se desarrollen los campos de dunas, y en consecuencia también es el factor principal que determina la morfología de las mismas.
6. La playa de Cabo Falso, tanto en la berma como en la zona intermareal, tiene arenas gruesas que van de moderadamente a bien seleccionadas, y con un sesgo hacia los finos; en la duna parabólica hay arenas gruesas a medias y

en el cordón de duna hay arenas medias bien clasificadas con un sesgo hacia los finos. En los arroyos hay arenas gruesas mal clasificadas con un sesgo hacia los finos.

7. Los parámetros texturales del sistema costero están afectados por: 1) las condiciones de energía del oleaje, de tal manera que la energía alta produce una buena selección y asimetría hacia los finos; 2) el campo de los vientos que produce buenas selecciones y una asimetría hacia los finos; y 3) por la circulación de las cuatrimotos, la cual modifica el tamaño de sedimento de la duna, encontrando que en unos meses del monitoreo la duna presentó sedimento más fino que el predominante. Este comportamiento indica que el paso de las cuatrimotos por las dunas está fraccionando el sedimento, haciéndolo más fino en algunas zonas.
8. El paso continuo de cuatrimotos afectó de manera directa la morfología del cordón de duna monitoreado, destruyendo la cobertura vegetal y creando caminos.
9. Los componentes mineralógicos más abundantes en la línea de costa (playa y duna) son el cuarzo (en abundancia), los feldespatos y los anfíboles; las micas están presentes pero en una proporción mucho menor. Dichos minerales son parte de la composición de las rocas graníticas de la provincia geológica del Cabo, las cuales son las productoras del sedimento que está siendo aportado a Cabo Falso. Los arroyos presentan la misma mineralogía que la línea de costa, pero con un porcentaje notablemente mayor de micas. Las condiciones de energía del oleaje, junto con la forma de este mineral que favorece el transporte, probablemente sean los responsables de que las micas no lleguen a la playa y duna del área de estudio.
10. Con el análisis de Fourier Forma de Grano encontramos que las principales fuentes de abastecimiento de los depósitos eólicos de Cabo Falso son por un lado los arroyos localizados al norte, principalmente el arroyo "El Migriño", y por otro lado la duna antigua aledaña a los depósitos eólicos recientes.

## LITERATURA CITADA

Aartolahti, T. (1973); ***Morphology, vegetation and development of Roukanvaara, an esker, and dune complex in Finland.*** FENNIA. 127, 53 p.

Alestalo, J. (1979); ***Land uplift and development of the litoral and aeolian morphology on Hailuoto, Finland.*** Acta Universitatis Ouluensis A 82. Geologica 3, 109-120.

Bagnold, R. (1941); ***The physics of blown sand and desert dunes.*** Methuen, London. 345 pp.

Bakker, Th., Jungerius, P. and Klijn, J. (1990); ***Dunes of the European coasts.*** Catena supplement 18.

Barnes, R. (1977); ***The coastline.*** John Wiley and Sons. London. 356 p.

Bauer, B. and Sherman, D. (1999); ***Coastal Dune Dynamics: Problems and Prospects.*** In Goudie, A., Livingstone, I. and Stokes, S., editors. *Aeolian environments, sediments and landforms.* John Wiley and Sons.

Bloom, A. (1991); ***Geomorphology: A systematic analysis of late Cenozoic landforms.*** Englewood Cliffs: Prentice-Hall, Inc. Bull, WB 1991.

Boggs, S., (1995); ***Principles of Sedimentology and Stratigraphy.*** Prentice Hall, New Jersey. 345 p.

Carter, R. (1988); ***Coastal Environments.*** Academic Press, San Diego. 617p.

Carter, R., Curtis, T. and Sheehy-Skeffington, M. (1992); ***Coastal dunes: geomorphology, ecology and management for conservation.*** Rotterdam:Balkema.

Chapman, D. (1989); ***Coastal dunes of New South Wales: status and management.*** University of Sydney: Coastal Studies Unit technical report 89/3.

Clark, J. (1977); ***Coastal Ecosystem Management.*** Ed. Robert E. Krieger Publishing Co. 928 p.

Clark, J. and Osborne. (1982); ***Contribution of Salinas River Sand to the Beaches of Monterey Bay, California, during the 1978 Flood Period: Fourier Grain Shape Analysis.*** Journal of Sedimentary Petrology. 52: 807-822.

Cooke, R., Warren, A. and Goudie, A. (1993); ***Desert Geomorphology.*** University College London Press. 526p.

Defense Mapping Agency USA (1984); ***Bahía San Lucas.,escala 1:20 000.***



Ehrlich, R. and Weinberg, B. (1970); ***An exact method for characterization of grain shape***. Journal of Sedimentary Petrology. 40: 205-212.

Emery, K. (1960); ***The Sea off Southern California***. John Wiley and Sons, New York. 366 p.

Evangelista, S., Full, W. and Tortora, P. (1994); ***Fourier Grain Shape Analysis as tool to quantify the contribution of the fluvial input to the coastal sedimentary budget: an example from the Port Stephen's Area, New South Wales, Australia***. Boll. Soc. Geol.It. 113: 729-747.

Evans, J. (1962); ***Falling and climbing sand dunes in Cronese ("Cat") Mountains, San Bernardino County, California***. Journal of Geology. 70: 107-113.

Folk, R. (1966); ***Petrology of sedimentary rocks***. Hemphill Publishing, Co. Texas. 182 p.

FONATUR. (2001); ***Cuaderno informativo municipal, Los Cabos Baja California Sur***.

Full, W., Ehrlich, R. and Klovan, J. (1981); ***EXTENDED Q-MODEL- Objective definition of external end-members in the analysis of mixtures***. Jour. Of Math Geol. 13: 331-344.

Full, W., Ehrlich, R. and Bezdek, J. (1982); ***Fuzzy Qmodel: A new approach for linear unmixing***. Int. Jour. Of Math Geol. 14: 257-268.

Full, W and Ehrlich, R. (1982); ***Some approaches for location of centroids of quartz grain outlines to increase homology between Fourier amplitude spectra***. Math. Geol. 14: 43-55.

Full, W, Ehrlich, R. and Kennedy, S. (1984); ***Optimal conFiguration and information content of sets of frequency distributions***. Journ. Sed. Petr. 54: 117-126.

Gimingham, C., Ritchie, W., Willetts, B. and Willis, A. (1989); ***Coastal sand dunes***. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, 96B.

Godín, G., Paz-Vela, R., Rodríguez, N. y Modesto, O. (1980); ***Revisión de los datos de mareas para Costa Occidental de México disponible en el CICESE e interpretación de los resultados***. Sección de mareografía, CICESE, Ensenada, B.C. Informe técnico OC-80-02.

Heikkinen, O. and Tikkanen, M. (1987); ***The Kalajoki Dune Field on the West Coast of Finland***. FENNIA. 165:2, 241-267.

INEGI. (1972); ***Fotografía aérea de Cabo San Lucas, escala 1:75 000***.

- INEGI. (1981); **Carta topográfica, San José del Cabo, escala 1: 250 000.**
- INEGI. (1984); **Carta geológica, San José del Cabo, escala 1: 250 000.**
- INEGI. (1985); **Carta topográfica, Cabo San Lucas, escala 1: 50 000.**
- INEGI. (1993); **Fotografía aérea de Cabo San Lucas, escala 1:50 000.**
- INEGI. (1995); **Síntesis geográfica del Estado de Baja California Sur.** 52 p.
- INEGI. (1996); **Estudio hidrológico del Estado de Baja California Sur.** 206 p.
- INEGI. (1998); **Carta topográfica, Cabo san Lucas., escala 1:50 000.**
- INEGI. (2000); **Cuaderno estadístico municipal, Los Cabos Baja California Sur.** 183 p.
- Kennett, J. (1982); **Marine geology.** Englewood Cliffs, N.J. Prentice Hall, Inc. 813 p.
- Krumbein, W. and Pettijohn, F. (1938); **Manual of sedimentary petrography.** Appleton Century Crofts, New York. 549 p.
- Lancaster, N. (1995); **Geomorphology of Desert Dunes.** Keith Richards, University of Cambridge. 287 p.
- Law, M. and Davidson, R. (1990); **Seasonal Controls on Aeolian Processes on the Beach and Foredune.** Proceedings Canadian Symposium on Coastal Dunes. 49-68 p.
- Maderey, L. (1975); **La humedad y la vegetación de la península de Baja California.** Instituto de Geografía. B.VI. UNAM.
- Mayer , A. (1995); **Comparative study of the coastal vegetation of Sardinia (Italy) and Crete (Greece) with respect to the effects of human influence.** IHW-Verlag, Libri Botanici, 15.
- McLachlan, A. (1990); **The exchange of materials between beach and dune systems.** In Nordstrom, K., Psuty, N. and Carter, R., editors. Coastal dunes: form and process. Chichester: Wiley, 201-15.
- Murillo, J. (1993); **Characteristics and Sources of the Crecient Barrier Island Sediments within Margarita Lagoonal Complex, Baja California Sur, Mexico.** Unpublished. M.S. Thesis, University Of Southern California, Los Angeles, California. 370 p.

Nava, E. (1992); ***Sedimentología de la Cuenca San Juan de los Planes, Baja California Sur, México.*** Tesis de Maestría CICIMAR, La Paz, B.C.S. 180 p.

Nava, E., et al., (1994); ***Morphology and Sedimentology of Two Fan Deltas on Southeastern Baja California Peninsula, Mexico.*** Sedimentary Geology. 98: 45-61.

Nelson, D., Full, W. and Evangelista, S. (en prensa). ***Forma: a program in C to trace object peripheries for two dimensional shape analysis.*** Submitted to Computer and Geosciences.

Nordstrom, K. and Gares, P. (1990); ***Changes in the volume of coastal dunes in New Jersey, USA.*** Ocean and Shoreline Management 14, 1-10.

Psuty, N., Allen, J. and Starcher, R. (1988); ***Spatial analysis of dune crest mobility, Fire Island, New York.*** Journal of Coastal Research special issue 3, 115-20.

Puy, M. (1994); ***Relación recurso agua, población y corredor turístico de San José del Cabo, B.C.S., México.*** Tesis de Maestría CICIMAR, La Paz, B.C.S. 180 p.

Pye, K. (1983); ***Coastal dunes.*** Progress in Physical Geography 7, 531-57.

Saunders, K. and Davidson R. (1990); ***Coastal dune response to natural disturbance.*** Proceedings Canadian Symposium on Coastal Dunes. 321-346 p.

Schwarcz, H. and Shane K. (1969); ***Measurement of particle shape by Fourier Analysis.*** Sedimentology. 13:213-231.

Seco, R. (1994); ***La zona litoral, geomorfología, evaluación y protección.*** Texto de curso de posgrado. UABCS. 120 p (inédito).

Shepard, F. and Dill, R. (1966); ***Submarine canyons and other sea valleys.*** Chicago, Rand-McNally and Co., 381 p.

Sherman, D. and Hotta, S. (1990); ***Aeolian sediment transport: theory and measurement.*** In Nordstrom, K., Psuty, N. y Carter, R., editors. Coastal dunes: form and process. Chichester: Wiley, 17-37.

Sherman, D. and Bauer, B. (1993); ***Dynamics of beach-dune systems.*** Progress in Physical Geography 17: 413-447.

Thomas, M., Wiltshire, R. and Williams, A. (1995); ***The use of Fourier descriptors in the classification of particle shape.*** Sedimentology. 42: 635-645.

Tikkanen, M. and Heikkinen, O. (1995); ***Aeolian landforms and processes in the Timberline region of the northern finnish lapland.*** Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellonskiego.

Troyo, S, et al. (2001); ***Análisis de señales de infragravedad en Cabo San Lucas, B.C.S, México.*** Memorias VII Congreso de la Asociación de Investigadores del Mar de Cortés A.C. Ensenada, B.C.

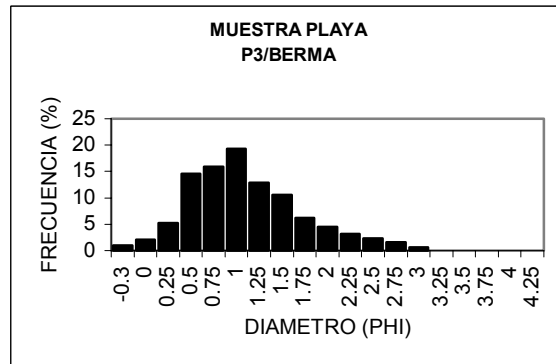
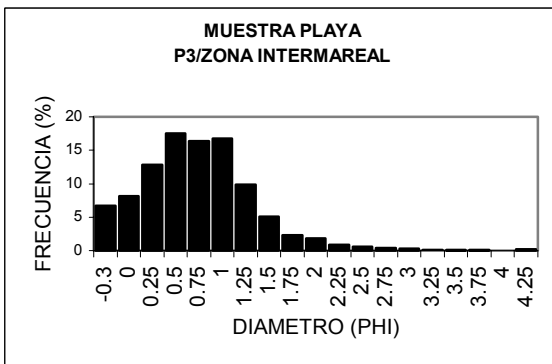
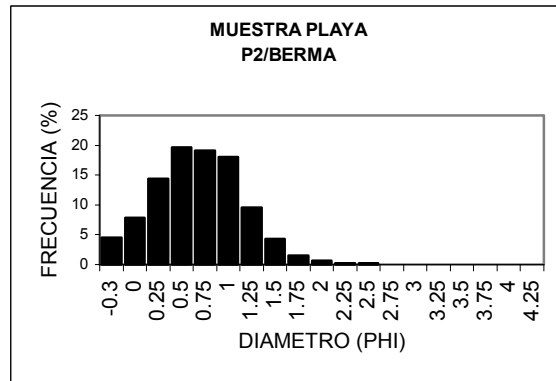
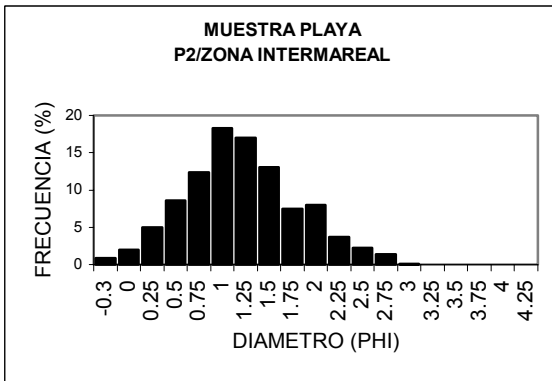
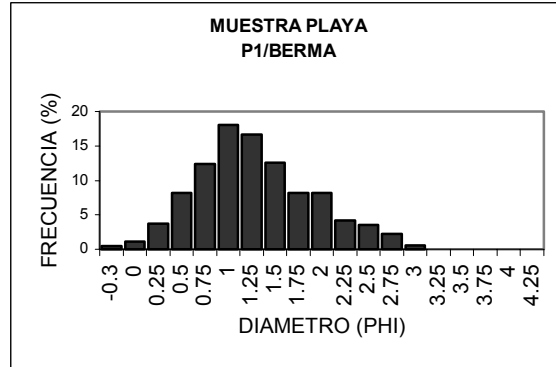
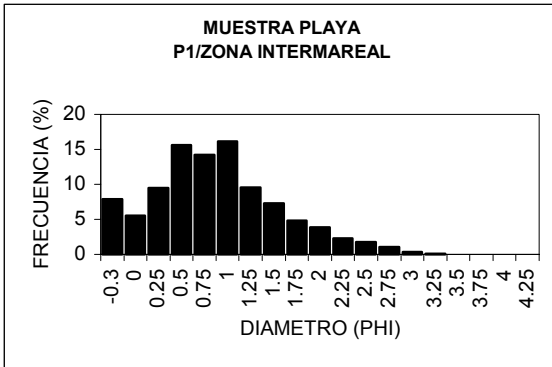
Tverskoi, P. (1962); ***Physics of the atmosphere: A course in meteorology.*** E.S. Selezneva, Leningrad. 559 p.

Wentworth, C. (1922); ***A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments.*** Journal of Geology. 30: 377-392.

Wright, L., Roberts, J., Coleman, R. and Bowden, L. (1973); ***Process-form variability of multiclass coasts: Baja California.*** Coastal Studies Institute. Louisiana State University. 54 p.

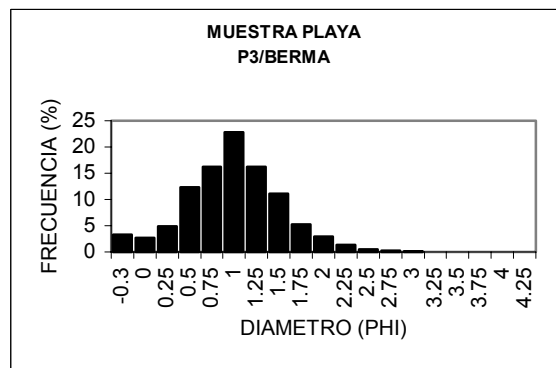
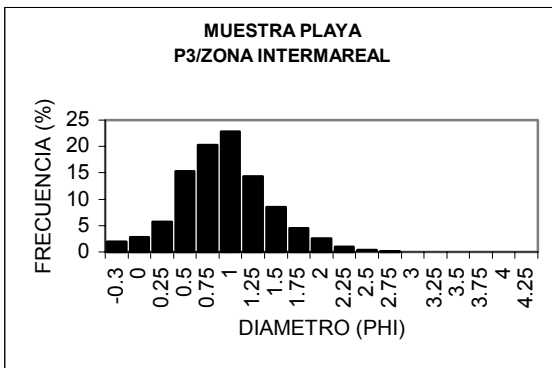
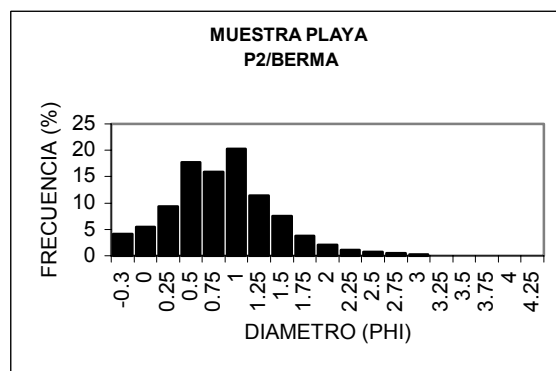
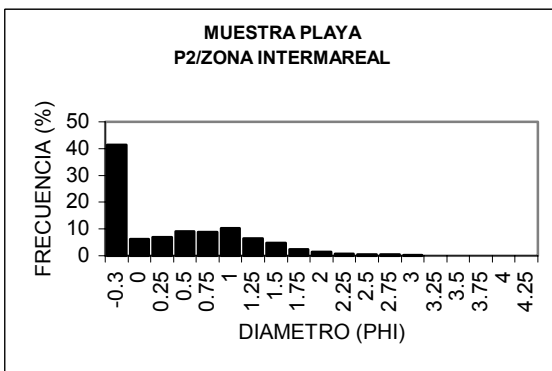
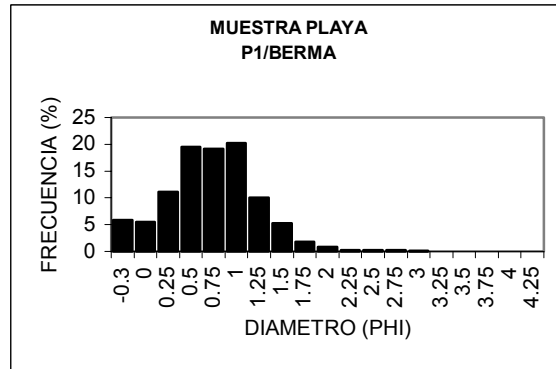
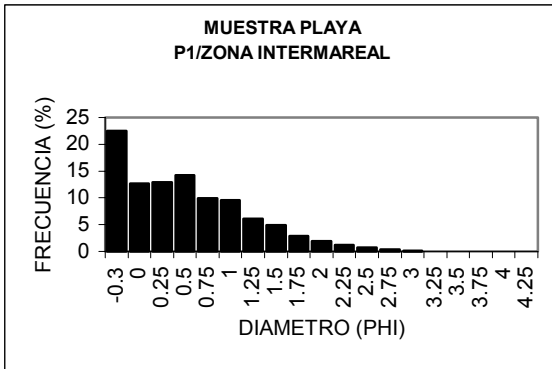
## **APÉNDICES**

# MUESTRAS DE MARZO 2001



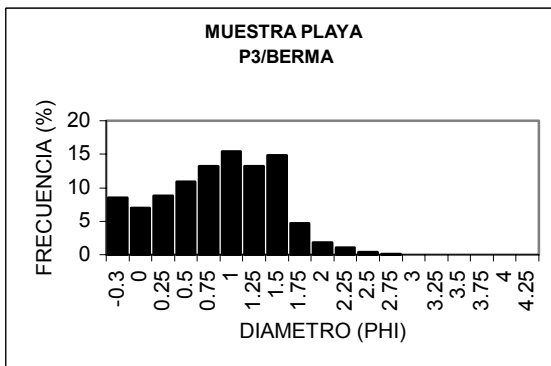
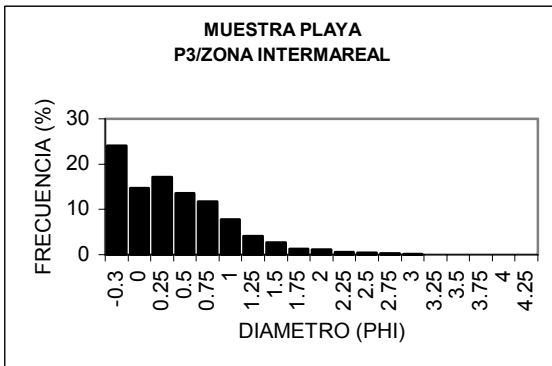
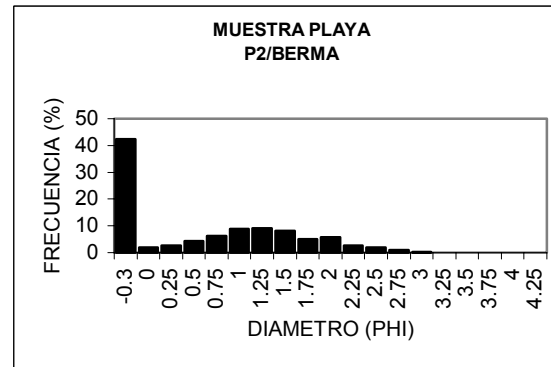
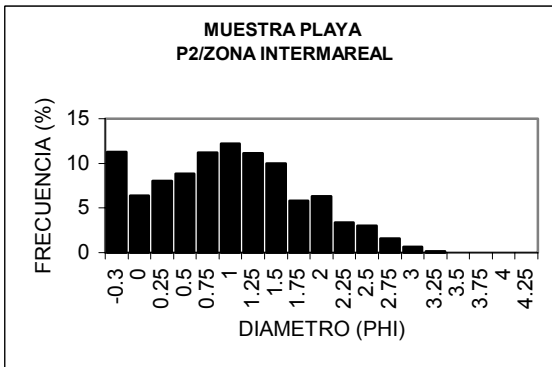
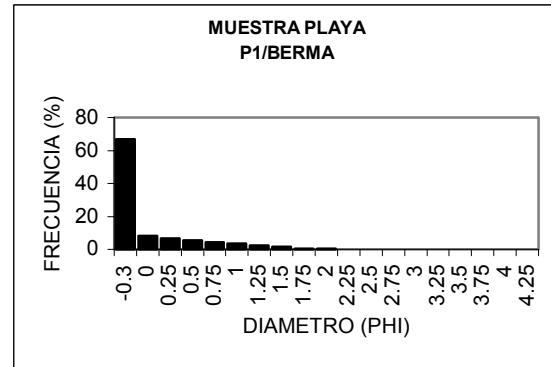
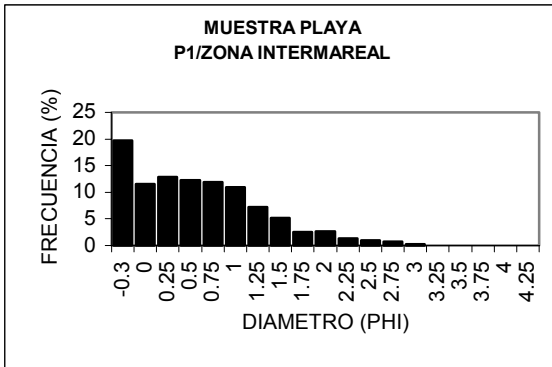
Apéndice 1. Histogramas de distribución de frecuencia del tamaño de grano para los sedimentos de playa del mes de marzo, junio, noviembre de 2001 y febrero 2002.

# MUESTRAS DE JUNIO 2001



Apéndice 1. Histogramas...continuación.

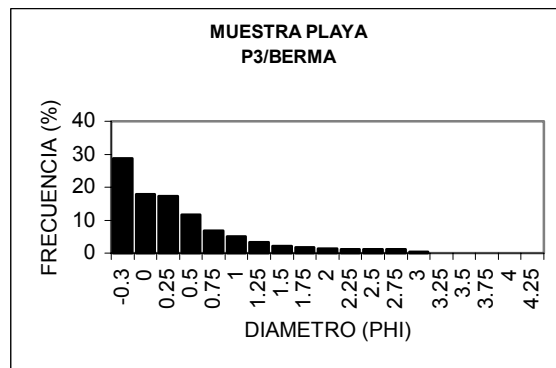
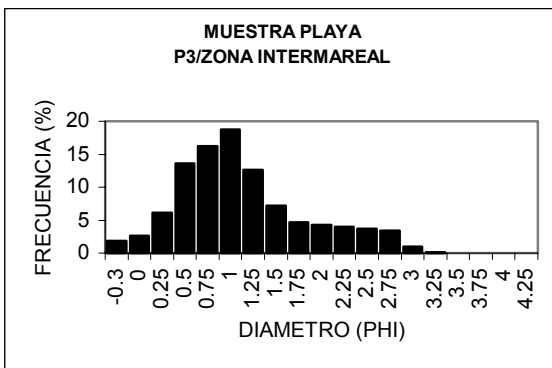
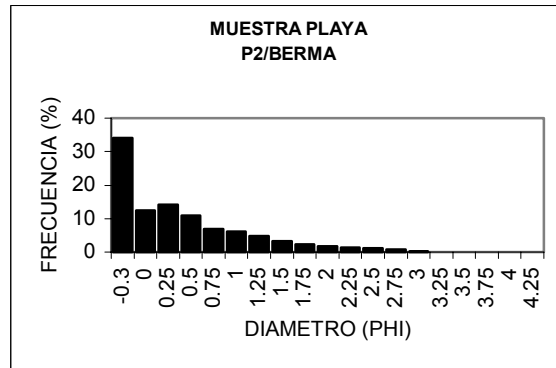
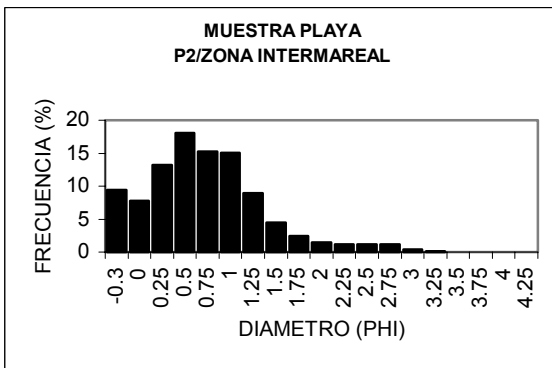
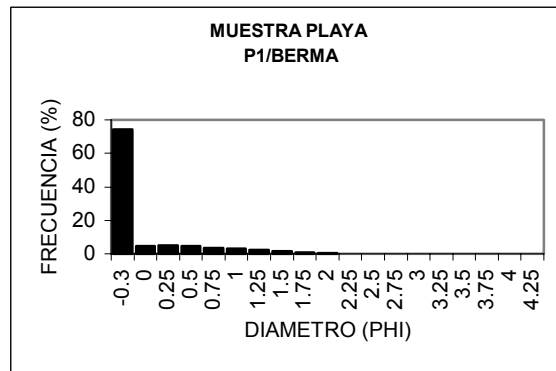
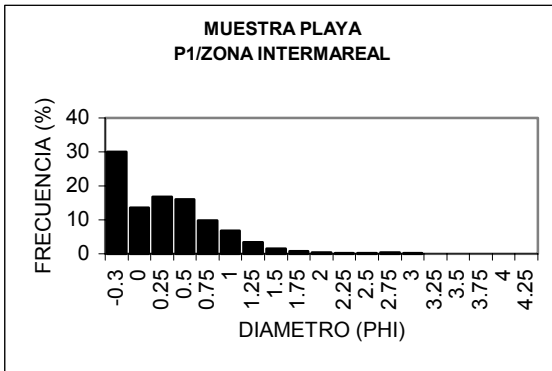
## MUESTRAS DE NOVIEMBRE 2001



Apéndice 1. Histogramas...continuación.

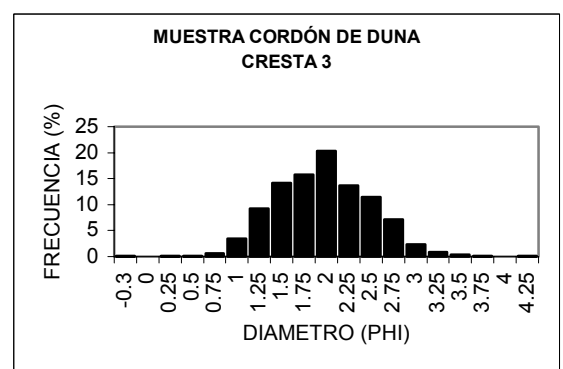
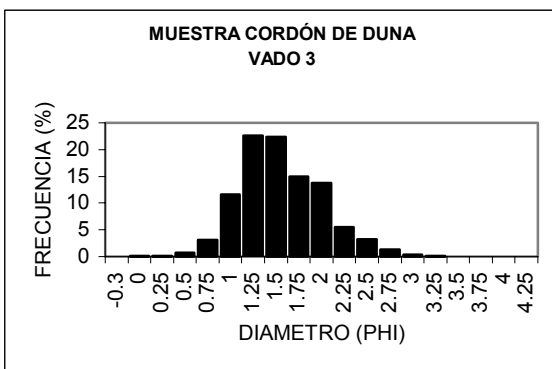
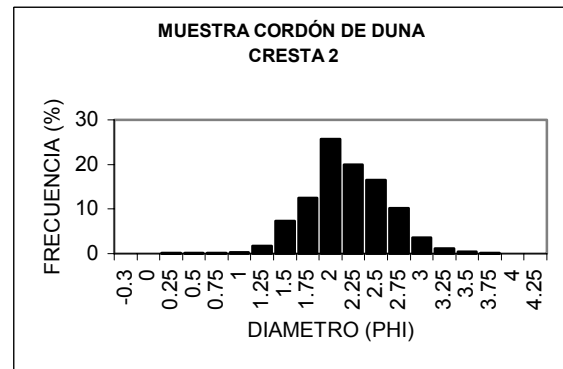
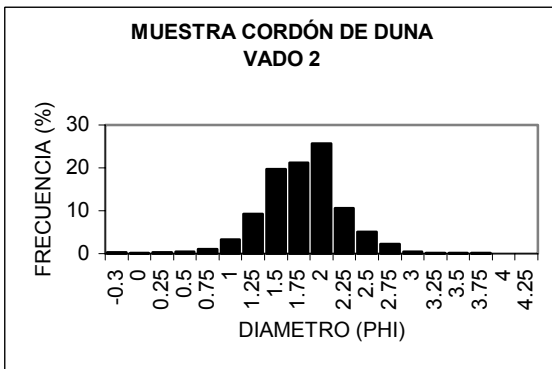
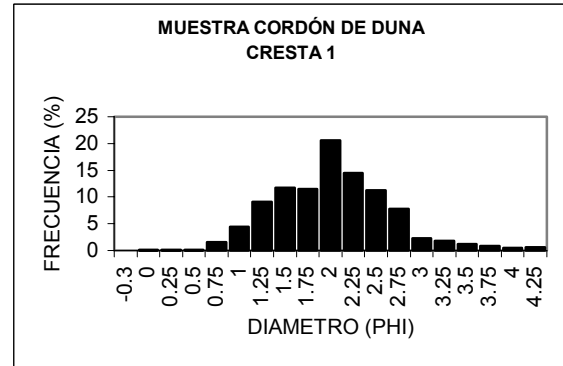
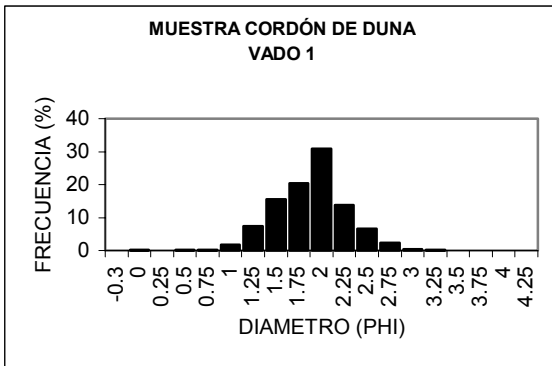


## MUESTRAS DE FEBRERO 2002



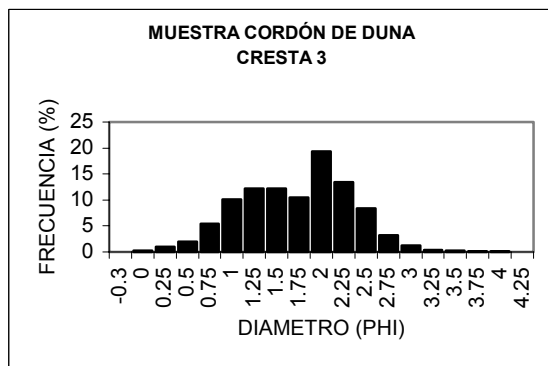
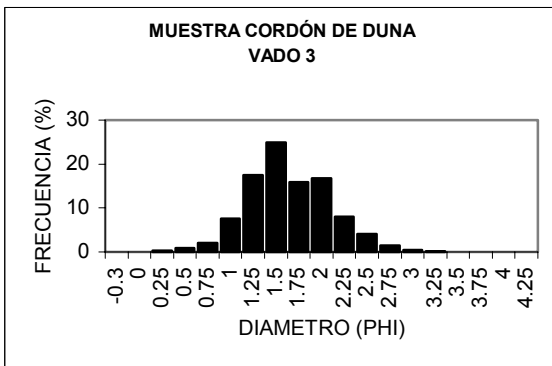
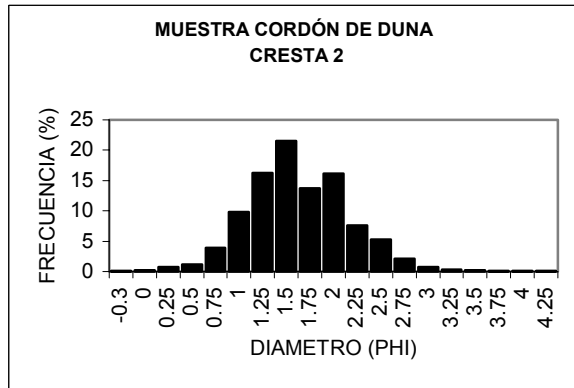
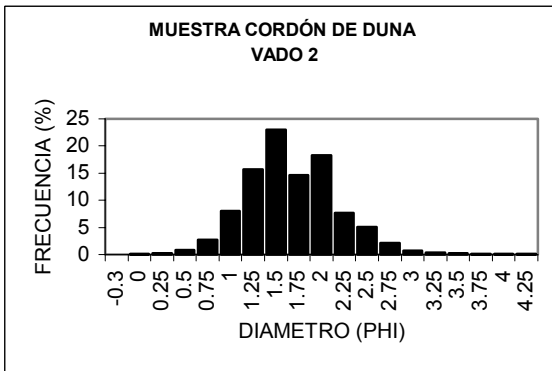
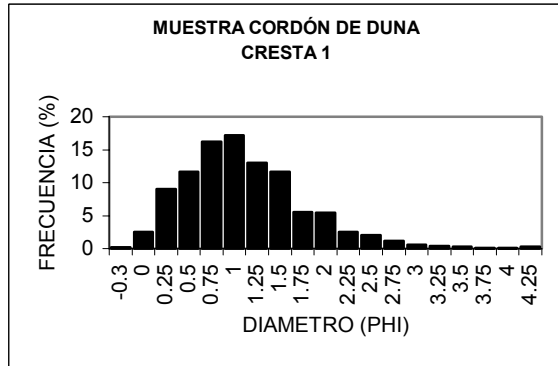
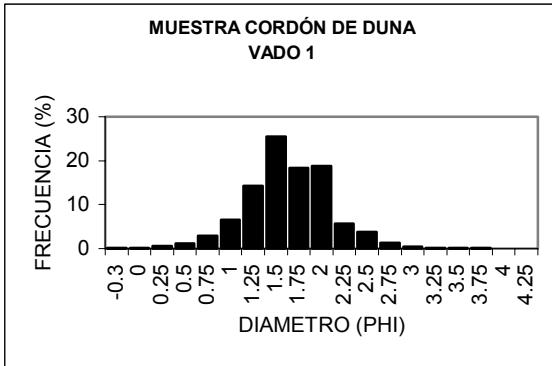
Apéndice 1. Histogramas...continuación.

## MUESTRAS MAYO DEL 2001



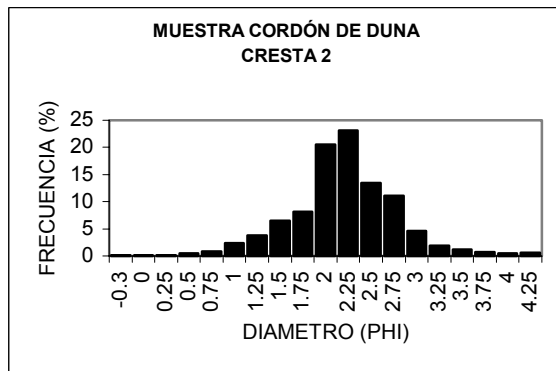
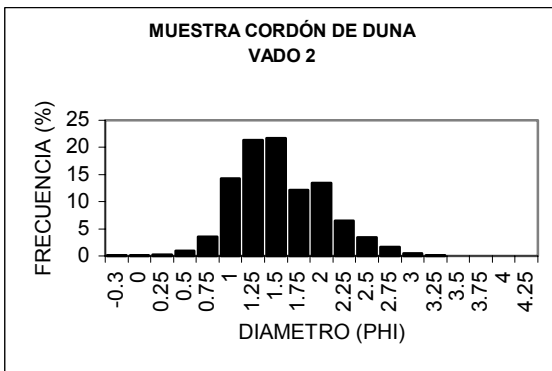
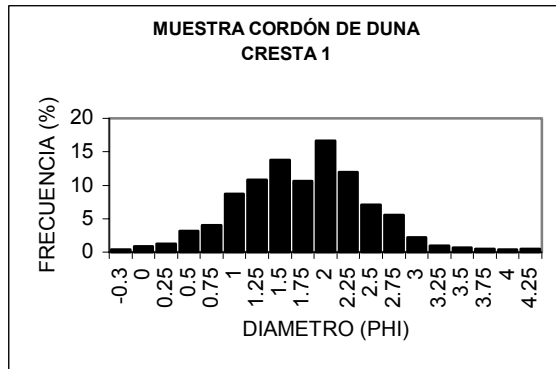
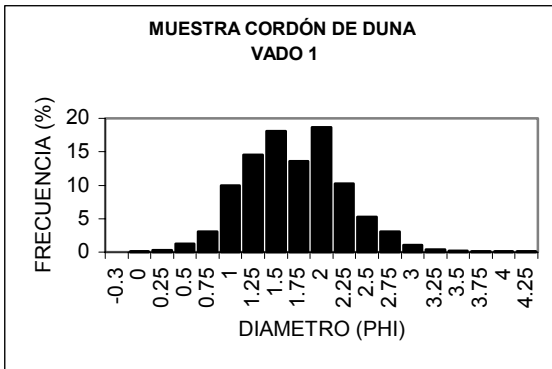
Apéndice 2. Histogramas de distribución de frecuencia del tamaño de grano para los sedimentos del cordón de duna del mes de mayo, octubre de 2001 y febrero 2002.

## MUESTRAS DE OCTUBRE DEL 2001



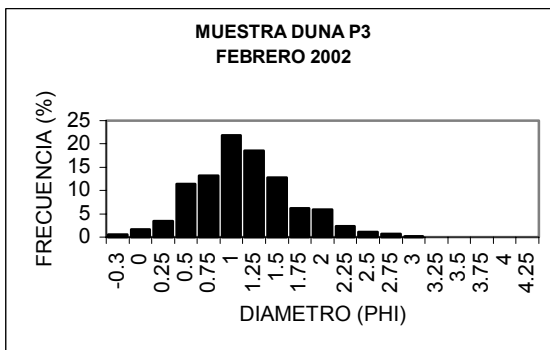
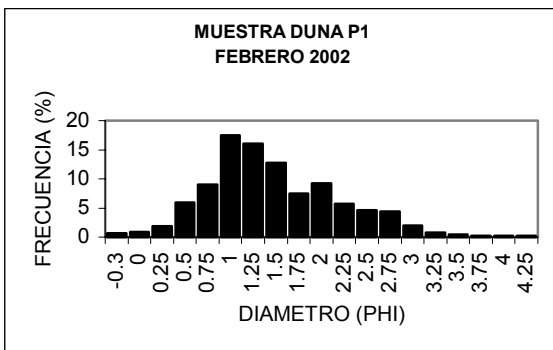
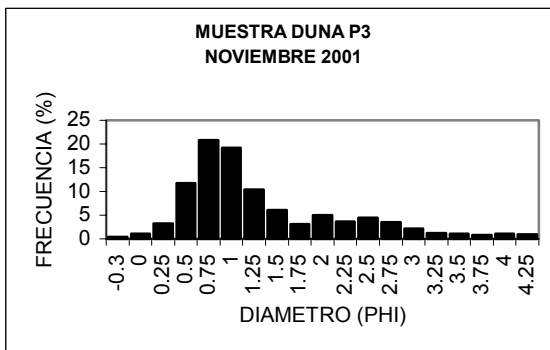
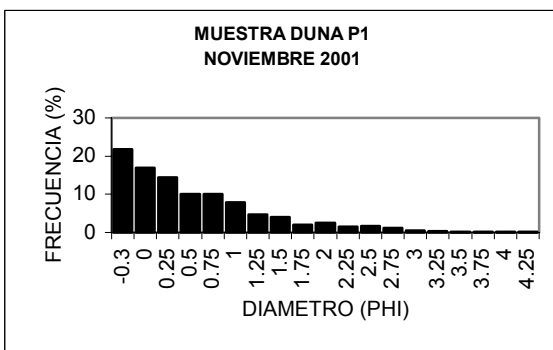
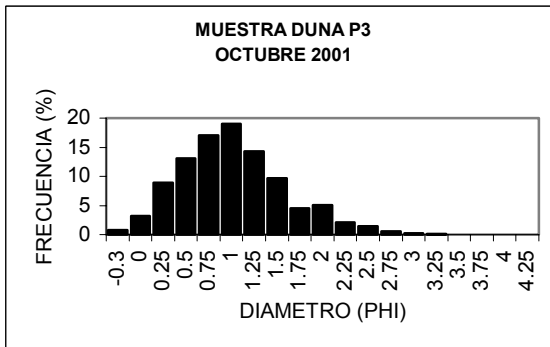
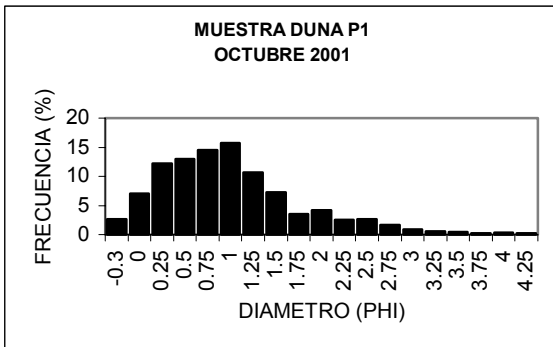
Apéndice 2. Histogramas...continuación.

## MUESTRAS FEBRERO DEL 2002



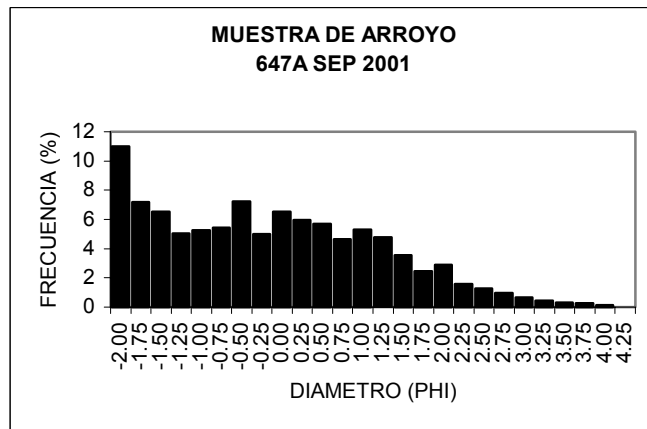
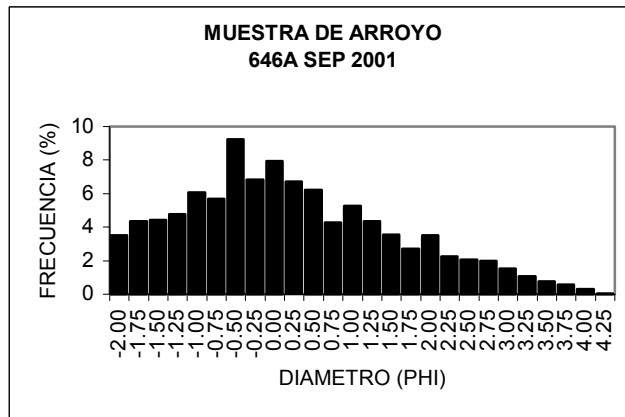
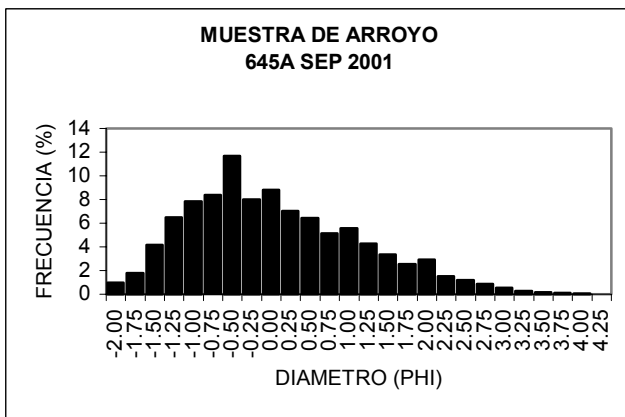
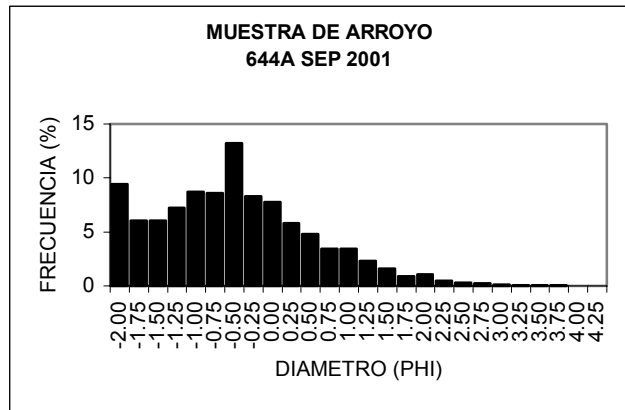
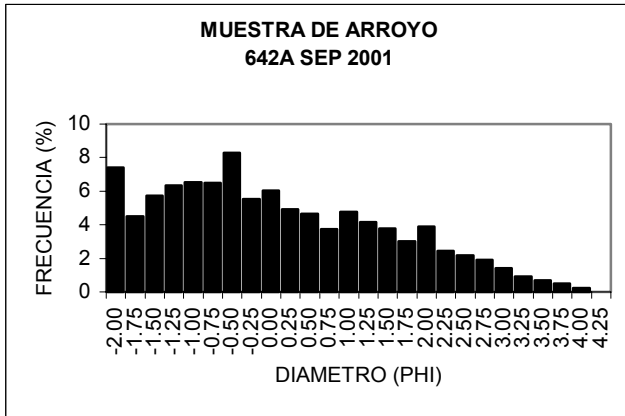
Apéndice 2. Histogramas...continuación.

## MUESTRAS DE LA DUNA PARABÓLICA

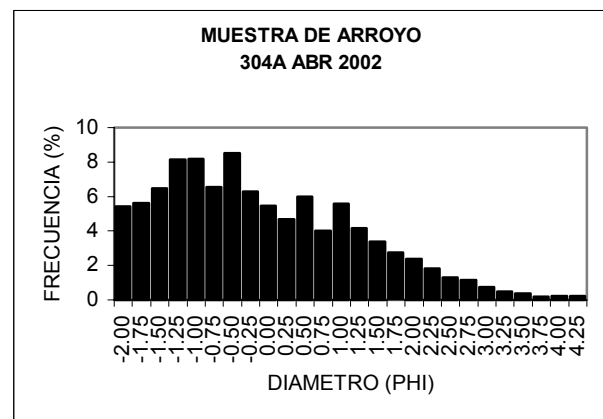
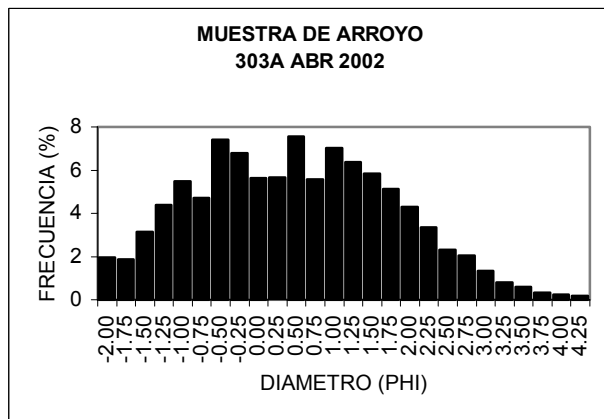
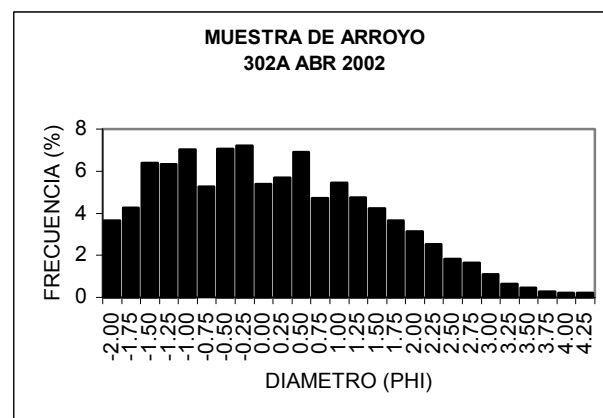
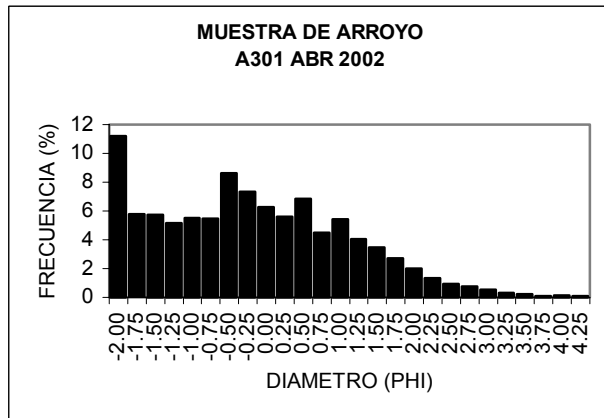
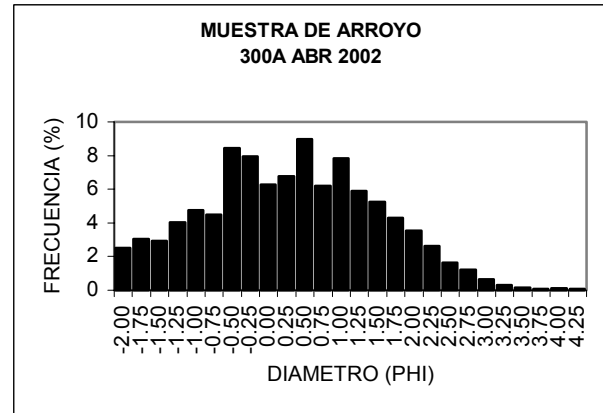
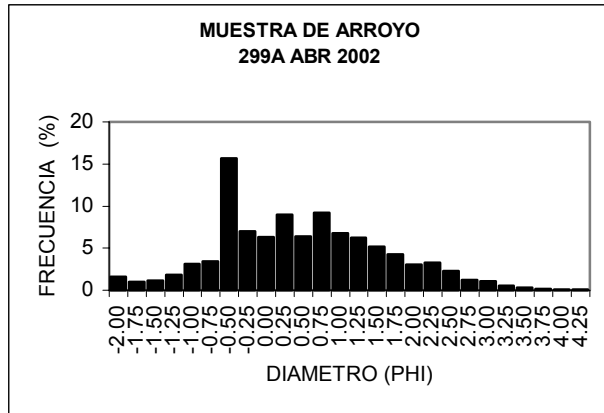


Apéndice 3. Histogramas de distribución de frecuencia del tamaño de grano para los sedimentos de la parte intermedia de la duna parabólica (perfiles 1 y 3) para octubre, noviembre y febrero.

# MUESTRAS DE ARROYO



Apéndice 4. Histogramas de distribución de frecuencia del tamaño de grano para los sedimentos de arroyo.



Apéndice 4. Histogramas...continuación.

