



P.613  
C.2

**ESCUELA SUPERIOR  
POLITECNICA DEL LITORAL**

***Facultad de Ingeniería Marítima  
y Ciencias del Mar***

**“PROCESOS LITORALES EN  
SAN PEDRO - VALDIVIA”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la Obtención del título de:**

***OCEANOGRÁFO***

**Presentada por:  
*Javier Piedra Peña***

**GUAYAQUIL - ECUADOR  
1990**



BIBLIOTECA

---

Ing. Jorge Faytong Durango  
Decano Facultad Ingeniería Marítima  
y Ciencias del Mar  
Presidente del Tribunal

---

Ing. Enrique Sánchez Cuadros  
Director de Tesis

---

M.Sc. M. Pilar Cornejo Rodríguez  
Miembro del Tribunal

---

Ing. Héctor Ayón Jo  
Miembro del Tribunal

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL)

*Javier Piedra P.*

EDUARDO JAVIER PIEDRA PEÑA

## INDICE GENERAL

RESUMEN .....	VIII
INDICE DE FIGURAS .....	VI
INDICE DE FOTOGRAFIAS .....	VII
INDICE DE TABLAS .....	VII
INTRODUCCION .....	X
I. GENERALIDADES	
1.1 Descripción de la zona .....	13
1.2 Delimitación del área de estudio .....	13
II. METODOLOGIA	
2.1 Estudios previos .....	17
2.2 Planificación general de las mediciones .....	17
2.3 Obtención y procesamiento de datos .....	18
2.3.1 Estaciones de apoyo .....	18
2.3.2 Batimetría .....	19
2.3.3 Sedimentos .....	20
2.3.4 Mareas .....	21
2.3.5 Olas .....	21
2.3.6 Corrientes .....	21
2.3.7 Vientos .....	22
2.3.8 Precipitación .....	22
III. CONDICIONES GEOLOGICAS, OCEANOGRAFICAS Y METEOROLOGICAS	
3.1 Geología .....	23
3.1.1 Geología Regional .....	23
3.1.2 Morfología submarina .....	25
3.1.3 Formaciones costeras .....	29
3.1.4 Análisis granulométrico .....	31
3.1.5 Análisis mineralógico .....	35
3.2 Oceanografía .....	42
3.2.1 Mareas .....	42
3.2.2 Oleaje .....	45

3.2.2.1 Antecedentes y estudios anteriores .....	46
3.2.2.2 Refracción de olas .....	47
3.2.2.3 Predicción de olas .....	53
3.2.2.4 Olas rompientes .....	53
3.2.2.5 Tipos de rompientes .....	58
3.2.4 Corrientes .....	60
3.2.4.1 Corrientes costeras .....	60
3.2.4.2 Corrientes litorales .....	67
3.3 Meteorología .....	70
3.3.1 Vientos .....	70
3.3.2 Precipitación .....	70
IV. PROCESOS LITORALES .....	
4.1 Aspectos Teóricos .....	73
4.1.1 Procesos en la zona costera .....	73
4.1.2 Factores que influncian en la geometría de la playa .....	74
4.1.3 Corrientes cerca de la costa .....	76
4.1.3.1 Velocidad de la corriente litoral .....	76
4.1.4 Transporte litoral .....	79
4.1.4.1 Transporte litoral neto y bruto .....	79
4.1.4.2 Métodos de estimación .....	80
4.2 Cálculo del transporte litoral .....	82
4.2.1 Capacidad de transporte litoral .....	82
4.2.2 Relaciones matemáticas .....	83
4.2.3 Resultados .....	85
4.3 Dinámica Costera .....	86
4.3.1 Cambios en Perfiles .....	88
4.3.2 Uso de fotografías aéreas .....	90
4.3.3 Discusión .....	90
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	95
BIBLIOGRAFIA .....	98

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de localización .....	14
Figura 2.	Areas de estudio .....	16
Figura 3.	Rasgos batimétricos en San Pedro .....	24
Figura 4.	Levantamiento batimétrico .....	26
Figura 5.	Perfiles batimétricos del área frente al CENAIM .....	27
Figura 6.	Perfiles batimétricos del área frente al CENAIM .....	28
Figura 7.	Formaciones Geológicas .....	30
Figura 8a.	Ubicación de la toma de muestras .....	32
Figura 8b.	Textura de los sedimentos de fondo en San Pedro-Valdivia .....	32
Figura 9a.	Fracción predominante de los sedimentos de fondo en San Pedro-Valdivia .....	33
Figura 9b.	Selección de los sedimentos de fondo en San Pedro-Valdivia .....	33
Figura 10a.	Curtosis de los sedimentos de fondo en San Pedro-Valdivia .....	34
Figura 10b.	Asimetría de los sedimentos de fondo en San Pedro-Valdivia .....	34
Figura 11.	Comparación gráfica entre las mareas de Valdivia, Monteverde y La Libertad .....	43
Figura 12.	Promedios mensuales del nivel medio del mar en la estación Salinas .....	44
Figura 13.	Refracción del Oleaje, T=12 seg .....	49
Figura 14.	Refracción del Oleaje, T=14 seg .....	50
Figura 15.	Refracción del Oleaje, T=16 seg .....	51
Figura 16.	Refracción del Oleaje, T=18 seg .....	52
Figura 17.	Porcentajes de ocurrencia de las alturas de ola rompiente en las épocas húmeda y seca .....	55
Figura 18.	Porcentajes de ocurrencia de los períodos medios de las olas rompientes .....	56
Figura 19.	Distribución acumulativa de alturas de olas rompientes .....	57
Figura 20a.	Trayectoria de las veletas en la época húmeda (abril 1/88) .....	63

Figura 20b. Trayectoria de las veletas en la época húmeda (abril 9/88) .....	64
Figura 21a. Trayectoria de las veletas en la época seca (agosto 21/88) .....	65
Figura 21b. Trayectoria de las veletas en la época seca (agosto 26/88) .....	66
Figura 22. Porcentajes de ocurrencia de los vientos en San Pedro y Salinas .....	71
Figura 23. Precipitación en Salinas .....	72
Figura 24. Patrón de corrientes en la zona litoral .....	77
Figura 25. Tamaño de grano y perfil de playa .....	87
Figura 26. Comparación de perfiles de playa .....	89
Figura 27. Esquema de la ensenada San Pedro-Montañita .....	94

#### INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. San Pedro-Valdivia, año 1986 .....	91
Fotografía 2. San Pedro-Valdivia, año 1977 .....	91
Fotografía 3. Manglaralto, año 1977 .....	92

#### INDICE DE TABLAS

I. Composición de los sedimentos .....	37
II. Parámetros estadísticos .....	38
III. Clasificación del sedimento .....	39
IV. Minerales livianos en los sedimentos de fondo en San Pedro-Valdivia .....	40
V. Minerales pesados en los sedimentos de fondo en San Pedro-Valdivia .....	41
VI. Observaciones visuales en la época húmeda .....	68
VII. Observaciones visuales en la época seca .....	69
VIII. Fórmulación utilizada para la estimación del transporte litoral .....	84

## RESUMEN

Dada la importancia turística y comercial que ha tomado en los últimos años el sector costero comprendido entre San Pedro y Montañita, resulta imprescindible determinar las condiciones ambientales y los procesos costeros reinantes en el área, lo cual ha sido el tema de este estudio.

En años normales, la época seca se presenta durante un período de 7 a 8 meses, y la lluviosa entre 4 y 5 meses. Los parámetros aquí medidos señalan la diferencia de las condiciones en ambas épocas. Durante el año 1988 se efectuaron mediciones oceanográficas costeras en el área de San Pedro-Valdivia, tanto en la época seca como en la húmeda. La información obtenida fue complementada con muestreos de algunos parámetros realizados en 1989. Las corrientes costeras tuvieron una dirección predominante hacia el noreste en la época seca y hacia el sureste en la época húmeda; y, la deriva litoral se dirigió principalmente hacia el norte en la época seca y hacia el sur en la lluviosa. Las velocidades observadas durante el período de mediciones fueron de 0.18 y 0.14 m/s en promedio, respectivamente.

La influencia de la precipitación en los procesos costeros sólo se percibe en temporadas de intensas lluvias. En años como 1988 y 1990, este factor pasó desapercibido, y se manifiesta en el hecho de que los ríos del sector no descargaron al mar.

Los principales cambios geomorfológicos ocurren en presencia de eventos extraordinarios como ha sido el caso del fenómeno EL NIÑO 82-83, en que se combinaron prolongadamente factores como ascenso del mar, olas muy altas, fuertes lluvias, etc, produciendo serias modificaciones en el sector costero, hoy evidenciadas por la presencia de los restos de casas encontrados en la zona intermareal de la playa de Manglaralto.

En años de condiciones climáticas bajo lo normal (lluvias escasas, temperatura baja) como fue 1988, la capacidad de transporte litoral en San Pedro-Valdivia es de aproximadamente 400.000 m<sup>3</sup>/año, aunque este valor podría ser superado por los efectos de fuertes oleajes que se producen durante varios días al año, pero que durante el período de mediciones no pudo ser observado.

En el presente estudio se deja planteada la hipótesis que la ensenada Punta San Antonio-Punta



Montañita tiene una zona de deposición que está en San Pedro-Valdivia, una de erosión cuyo centro es Manglaralto y un sector intermedio que se mantiene en equilibrio ubicado en Simón Bolívar, lo cual puede ser verificado mediante mediciones detalladas y de varios años de duración.

## INTRODUCCION



En los últimos años el ambiente costero de la Provincia del Guayas se ha constituido en una base importante del movimiento económico y poblacional ecuatoriano, involucrando actividades relacionadas con la pesca artesanal, turismo y producción de larvas de camarón.

Una de las zonas más importantes, turística y comercialmente, es la bahía comprendida entre Punta San Antonio y Punta Montañita, donde se han ubicado un número considerable de laboratorios de larvas de camarón.

Los principales asentamientos poblacionales de la zona son: San Pedro y Valdivia, formando un solo conjunto poblacional, y Manglaralto, la cual ha presentado últimamente un incremento en su población flotante. Cabe resaltar San Pedro como una localidad cuyos habitantes se dedican en su mayoría a la pesca artesanal.

El conocimiento de las características oceanográficas del sector ha sido de interés para la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) a partir de 1981 en que se firmó un convenio con el Comité Interinstitucional Valdivia (CIV), mediante el cual la ESPOL diseñaría un Terminal Pesquero en Valdivia. Durante la ejecución de este convenio se llevaron a cabo estudios sobre los siguientes aspectos: Batimetría (Zambrano, 1982), Corrientes (Paredes, 1984) y Oleaje (Allauca, 1985). En la actualidad las perspectivas para la instalación de un Terminal Pesquero en San Pedro han variado. Sin embargo, ha aumentado el interés y la necesidad de contar con estudios oceanográficos del área.

En el año de 1984, la ESPOL, sensible a los requerimientos socio-económico-técnicos del país, construyó en San Pedro el Laboratorio de Larvas de Camarón; y, posteriormente, como un avance para futuras investigaciones, ha construido junto a este laboratorio el Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas (CENAIM).

Durante 1988 se efectuaron los estudios de campo del Proyecto CONUEP-ESPOL "Características Litorales en el sector comprendido entre San Pedro y Manglaralto", en el

cual el autor participó como asistente de investigación. Parte de los datos allí obtenidos han sido utilizados para elaborar el presente trabajo previa autorización del director del proyecto, Ing. Enrique Sánchez.

Una serie de datos oceanográficos fueron tomados por J. Chang (1988) en base a los cuales la Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar de la ESPOL elaboró un informe llamado "Información Oceanográfica básica para el Centro Nacional de Acuicultura proyectado en el área de San Pedro de Manglaralto".

El Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), entre 1981 y 1984 realizó mediciones oceanográficas en el área de Monteverde, localizado 11 kilómetros al sur de San Pedro. Algunos de los datos publicados serán utilizados ocasionalmente como referencia para este estudio.

El objetivo de esta tesis es determinar los procesos litorales sobresalientes del área de San Pedro, dada la importancia que tienen éstos en las actividades que desarrollará el CENAIM en la zona. Además, la evaluación de los procesos litorales también reviste importancia en el conocimiento del medio físico de este sector costero como elemento básico en el manejo del espacio físico y de los recursos de la zona. Sobre este último particular cabe indicar que el área de estudio ha sido definida como una Zona Especial de Manejo (ZEM) dentro del Programa de Manejo de Recursos Costeros (PMRC) del Ecuador, por lo que los resultados del presente estudio servirán de mucha utilidad para el manejo de los recursos de la zona.

En la primera sección de esta tesis se indica la ubicación, ciertos rasgos geográficos zonales y la delimitación del área de estudio. La metodología empleada en la toma y procesamiento de los datos es detallada en el segundo capítulo.

El tercer capítulo cubre un análisis general de las características oceanográficas, meteorológicas y geológicas de San Pedro de Valdivia y sus alrededores. Incluye el análisis de datos recientes y su comparación con estudios anteriores con el fin de determinar los procesos litorales reinantes en en área de estudio.

El último capítulo ha sido dividido en tres partes. La primera contiene una síntesis teórica de los procesos costeros y los factores que influyen en ellos, los tipos de corrientes y el transporte litoral que generan, así como sus causas y efectos. La segunda parte indica los métodos utilizados en el cálculo del transporte de sedimentos y trata de encontrar el más

apropiado para aplicar en la costa estudiada. Finalmente, la dinámica de la línea de playa es analizada mediante fotografías aéreas y a su vez comparada con las observaciones de perfiles de playa de años diferentes.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

#### 1.1 DESCRIPCION DE LA ZONA

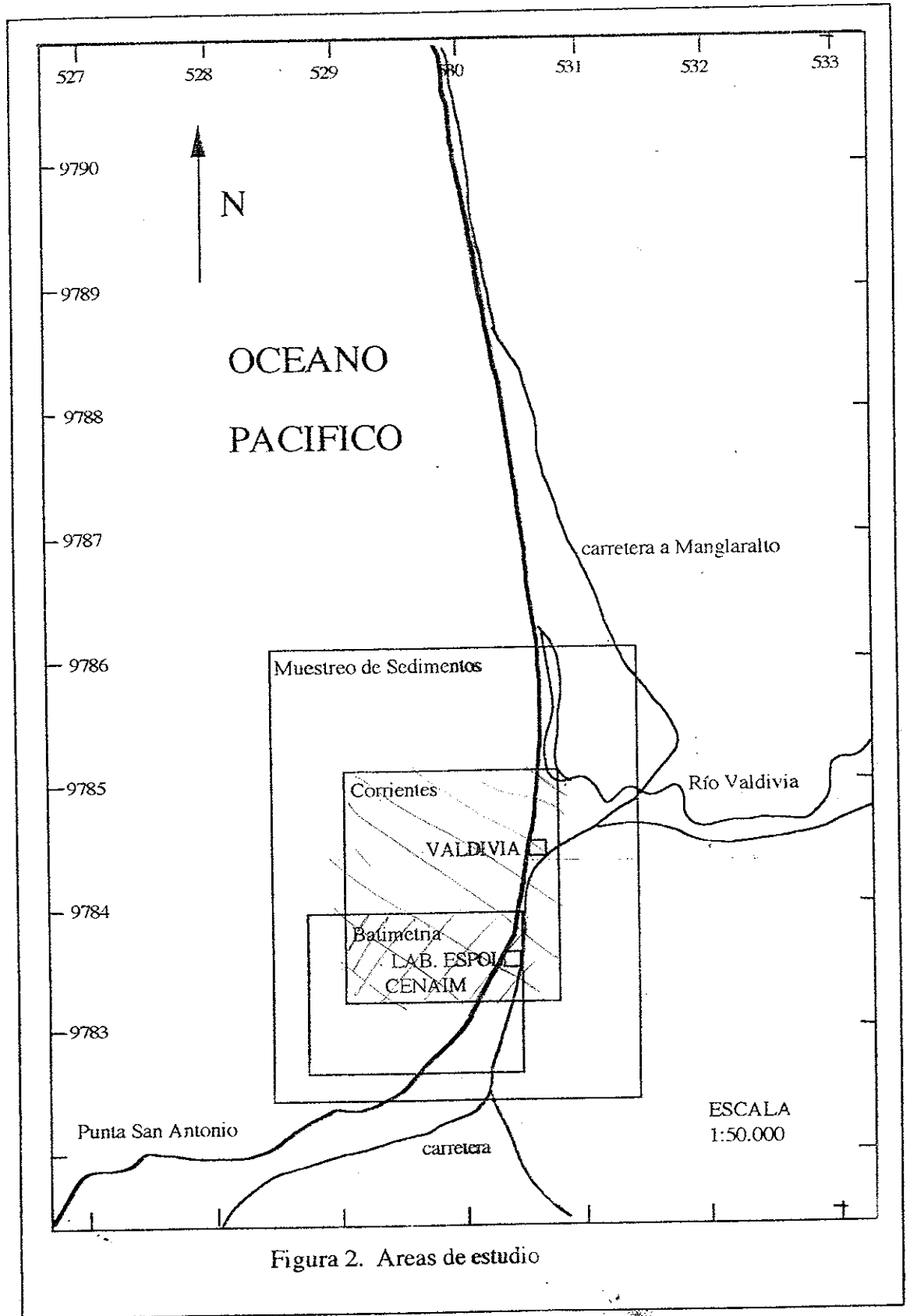
San Pedro de Manglaralto, una de las poblaciones más representativas de la costa de la provincia del Guayas, cuyos habitantes se dedican principalmente a la pesca artesanal, pertenece a la Parroquia Colonche del Cantón Santa Elena. Está localizada a  $1^{\circ} 56' 30''$  de Latitud Sur y  $80^{\circ} 43' 30''$  de Longitud Oeste (figura 1).

La población de San Pedro está ubicada en la costa noreste de la Bahía de Santa Elena. Se accede a aquella siguiendo por la carretera costanera que comunica a importantes puertos pesqueros artesanales de la Península de Santa Elena como Monteverde, Palmar y Ayangue con Manglaralto y la Provincia de Manabí.

El área de San Pedro constituye el límite sur de una extensa ensenada de 27 Km, donde predominan los cordones litorales en una costa rectilínea interrumpida por una punta rocosa alta y vertical llamada Punta Montañita, y un sector de acantilados de mediana altura y de roca blanda, inestables (Ayon, 1988).

Según la clasificación de Ottman (1967), la playa de San Pedro es principalmente del tipo de costa baja de la clase de deposición marina, en la que la fuerza de las olas y de las corrientes del mar son suficientemente grandes como para aportar materiales marinos al continente.

La playa de arena se extiende desde Punta Montañita hasta el borde de una gran saliente rocosa ubicada al sur de San Pedro donde se encuentra Punta San Antonio. Esta saliente actúa como un rompeolas natural que protege a la playa de San Pedro del oleaje proveniente sobre todo del suroeste (SO).



Al este de San Pedro existe una zona de cerros que pertenecen a la Cordillera de Colonche de donde nacen los ríos Valdivia y Boquita que desembocan al mar sólo en época lluviosa cuando se forma un torrente de agua lo suficientemente fuerte como para romper la barrera litoral. Dichos ríos desembocan respectivamente al norte de Valdivia y entre San Pedro y Valdivia. La presencia de la barrera litoral produce la formación de la laguna costera del Río Valdivia, que produce aporte sedimentario al mar durante la época lluviosa.

Al norte de San Pedro y dentro de la misma ensenada, se encuentran los Ríos Atravesado y Manglaralto, que presentan características similares a las del Río Valdivia.

Hasta los 50 metros (m) de profundidad, la batimetría presenta contornos paralelos. Mar adentro, aproximadamente a 32 Km de la costa, la irregularidad del fondo es reflejada en el Bajo de Montañita que sobresale hasta los 10 m bajo el MLWS (mean low water spring), alterando las características del oleaje que sobre él se propaga.

## 1.2 DELIMITACION DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio está ubicada frente a las poblaciones de Valdivia y San Pedro, considerándose como límite norte a la desembocadura del Río Valdivia y límite sur la Punta San Antonio, con una extensión de aproximadamente 3000 metros y hasta una distancia de 2000 metros desde la costa hacia mar adentro (Figura 2). En la misma figura se indica la ubicación de las áreas de muestreo de sedimentos de fondo, de mediciones de corrientes y del mapa batimétrico.

En esta tesis se hace referencia a la zona de San Pedro o a la de Valdivia, porque son dos poblaciones situadas una a continuación de otra, formando prácticamente una sola comunidad.

Aunque el análisis de los procesos litorales se concentra en la zona de San Pedro, se considerarán otros factores producidos a una mayor escala geográfica que puedan alterar las características y procesos prevalecientes en el área.

## CAPITULO II

### METODOLOGIA

#### 2.1 ESTUDIOS PREVIOS

A fin de determinar la información que debería considerarse relevante para lograr el objetivo del presente estudio, se hizo una recopilación de la información existente sobre el área. La siguiente es la lista de los estudios previos que fueron considerados de interés:

- INOCAR, 1980. Carta IOA 105 y Carta IOA 1051
- Zambrano, 1982. Levantamiento Hidrográfico para el proyecto del Terminal Pesquero Artesanal en Valdivia. ESPOL.
- Paredes, 1984. Estudio de Corrientes en Valdivia. ESPOL.
- Ayoub, 1985. Procesos Costeros en Monteverde. ESPOL.
- Allauca, 1985. Estudio del Oleaje en Valdivia. ESPOL.
- Instituto Geográfico Militar (I.G.M.). Fotografías Aéreas, años 1977 y 1986.
- Chang J., 1988. Levantamiento Batimétrico del CENAIM.
- ESPOL, 1988. Información Oceanográfica básica para el Centro Nacional de Acuicultura proyectado en el área de San Pedro de Manglaralto.

#### 2.2 PLANIFICACION GENERAL DE LAS MEDICIONES

En la planificación de las mediciones se consideraron los agentes principales que afectan e intervienen en los procesos costeros en el área, haciendo un compromiso entre la necesidad de la variada información requerida y la disponibilidad de recursos. La información referente a ciertos parámetros como precipitación, régimen de vientos, etc., fueron tomados de otras fuentes (INOCAR).



Las olas, principal factor en la determinación de la geometría y composición de las playas, y las corrientes junto con las propiedades físicas del material de fondo determinan la razón y dirección de transporte de material en la zona costera (Lanfredi, 1978).

Según Ayón (1988), refiriéndose al área de estudio: "salvo casos excepcionales, en general la deriva litoral se dirige al norte durante el estiaje y al sur durante la estación lluviosa". Esto generaría un transporte de sedimentos de iguales características, lo que obliga a tomar datos similares en ambas épocas. En base a esto se tomaron datos de campo en los meses de marzo-abril y agosto por ser considerados meses típicos de las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Los objetivos del proyecto de investigación del cual se tomaron los datos (Sánchez E.) cumplieron con estos requerimientos.

Las cartas náuticas y las fotografías aéreas proveen una valiosa información respecto a la evolución de la costa, áreas de erosión, deposición. En algunos casos, la comparación con cartas modernas dan suficiente antecedente para estimar la cantidad anual de la deriva litoral.

Para la determinación de la dirección de la corriente litoral es muy importante poseer datos estadísticos de los niveles del mar, vientos, efectos de las precipitaciones, olas y corrientes junto con los análisis de muestras de fondo y sedimentos en suspensión. La experiencia local de los pobladores también puede llegar a ser una buena fuente de información. Todos estos factores fueron considerados en este estudio.

## 2.3 OBTENCION Y PROCESAMIENTO DE DATOS

### 2.3.1 Estaciones de apoyo

El estudio de los procesos litorales en San Pedro requería contar con puntos de apoyo de fácil acceso y adecuada visibilidad del área de trabajo para así obtener ángulos de corte indispensables para la batimetría y mediciones de corrientes.

Posterior al reconocimiento de la zona fueron determinadas dos estaciones: una frente al laboratorio de la ESPOL, coordenadas UTM 9°784372,458 N y 530358,457 E, y otra en Valdivia, coordenadas UTM 9°785737,895 N y

530703,953 E (figura 2). Se obtuvo tanto el control horizontal como vertical de estos puntos geodésicos de tercer orden.

Muchas de las mediciones de este proyecto se efectuaron a bordo de una embarcación equipada con ecosonda, radio, flotadores. A continuación se indica la metodología utilizada en la toma de información.

### 2.3.2 Batimetría

En el levantamiento batimétrico que efectuó J. Chang en mayo/88 en la zona costera inmediata al terreno donde actualmente se encuentra el CENAIM, en un área de 1000 m medidos a lo largo de la playa por 1300 m mar adentro, se midieron 9 líneas de sondaje perpendiculares a la playa y paralelas entre sí, así como líneas de comprobación paralelas a la playa. El autor de esta tesis participó en el trabajo indicado.

Los sondajes fueron ejecutados con un ecosonda marca RAYTHEON, modelo DE-719C, que registra en forma continua sobre el papel en el cual se anotó cada 20 segundos (s) la posición de la embarcación obtenida por los ángulos de cruce de las dos estaciones terrenas. Dos personas a bordo de la embarcación y un operador del teodolito con su auxiliar en cada una de las estaciones terrenas fueron requeridos para este trabajo. Los datos así obtenidos fueron procesados posteriormente en gabinete.

Las correcciones en los sondajes se realizaron por:

- a) Altura de Mareas. Los valores de las alturas de mareas de la fecha de las mediciones, se restan de las profundidades registradas por el ecosonda. Por lo tanto el sondaje resultante está referido al nivel medio de las bajamares de sicigia (MLWS).
- b) Calado del transductor. Al medirse el sondaje los valores que registra el ecosonda tienen un error igual a la profundidad que se encuentra sumergido el transductor, entonces la profundidad real está dada por la registrada más aquella a la que se encuentra el transductor.

c) Desplazamiento del cero del ecosonda. Suele ocurrir que el nivel de profundidad cero del ecosonda se desplaza con respecto al del papel del registro. Este desplazamiento se añade al valor registrado para obtener el valor real.

Luego de corregir los sondajes se dibujó el respectivo plano batimétrico, a partir del cual se obtuvieron varios perfiles perpendiculares a la costa que son analizados en la sección 3.1.

### 2.3.3 Sedimentos

Se efectuaron muestreos de sedimentos cuya localización se muestra en la figura 2. Los puntos de muestreo fueron escogidos buscando un espaciamiento adecuado para cubrir el área de estudio tomando en cuenta las limitaciones económicas y de tiempo.

Se tomaron 19 muestras de sedimentos de la superficie del fondo a bordo de una pequeña embarcación utilizando una draga manual. Además se recolectaron 5 muestras superficiales a lo largo de la playa en la zona intermareal. Las muestras fueron tomadas en el mes de julio de 1989.

La ubicación de los puntos de muestreo (figura 7) es aproximada puesto que se realizó sin posicionamiento de las estaciones terrenas. Para ello se utilizaron cartas náuticas, puntos de la costa conocidos y distancias a la línea de playa.

Todos los análisis de las muestras en el laboratorio, tanto los de granulometría como de mineralogía fueron efectuadas con la guía de un geólogo de la ESPOL.

En el laboratorio las fracciones gruesas de las muestras fueron separadas de las finas mediante un tamizaje en húmedo sobre un tamiz 230 (USA Standard Testing Sieve). La fracción gruesa retenida en dicho tamiz se secó en la estufa y luego fue tamizada en un agitador mecánico ROTAP durante 10 minutos. La fracción fina fue analizada mediante el método de la pipeta.

Para el análisis mineralógico se utilizaron 14 muestras de sedimentos que ofrecían las características modales y la ubicación necesaria para considerarlas representativas de la zona.

En este análisis se separaron las fracciones livianas y pesadas utilizando bromoformo (densidad=2.85). Posteriormente se identificaron los componentes minerales de la fracción liviana efectuando una coloración selectiva de granos. La composición mineralógica de la fracción pesada fue realizada en un microscopio binocular.

#### 2.3.4 Mareas

Se utilizaron los datos de las variaciones del nivel del mar del mareógrafo de la estación costera de La Libertad (2° 12' S, 80° 55' O), distante 45 Km de San Pedro, del cual se tienen registros continuos desde 1948, así como de la estación mareográfica de Monteverde.

#### 2.3.5 Olas

Los parámetros de las olas: altura y período fueron tomados por medio de observaciones visuales en la rompiente a intervalos de una hora, dentro del programa de observaciones litorales establecidos para el efecto y que fueron referidas en 2.3.7.

Debido a que la cresta de las olas arriva casi paralelamente a la línea de costa, es difícil medir el ángulo de aproximación de las olas desde la playa, por esto tal aproximación fue determinada en base a fotografías aéreas.

#### 2.3.6 Corrientes

Se midieron dos tipos de corrientes: corrientes costeras afuera de la zona de rompiente y las corrientes litorales dentro de ella.

Las corrientes costeras fueron medidas utilizando el método lagrangiano, mediante el seguimiento por determinaciones frecuentes de la posición de veletas superficiales y subsuperficiales (3 m). Se intentó también medir estas corrientes

con el método euleriano en puntos fijos, pero debido a la falla del instrumento perfilador NBA, con el que se obtuvieron pocos datos, se decidió considerar sólo el método anterior.

Las corrientes litorales fueron medidas en concordancia con el programa de observaciones litorales diseñado para el proyecto CONUEP-ESPOL indicado. En este programa se hicieron observaciones simultáneas de altura y período de ola rompiente, ancho de la zona de rompiente, y se determinó la dirección, distancia recorrida y el tiempo en que boyarines arrojados en la zona de rompiente tardaron en vararse.

### 2.3.7 Vientos

En la estación meteorológica de Salinas ( $2^{\circ} 3.5' N$ ,  $80^{\circ} 59.7' 24'' W$ ), se tomaron los promedios mensuales para magnitudes y velocidades de vientos predominantes para el año 1988.

Para determinar principalmente en forma cualitativa la variación en la magnitud y dirección del viento en San Pedro con respecto a la que mide la estación de Salinas, se instaló en el sitio durante algunas semanas un anemógrafo. Este equipo, marca KAHLISCO, fue instalado en el laboratorio de larvas de la ESPOL a una altura de aproximadamente 7 m. sobre el nivel del mar. Este instrumento tuvo un funcionamiento irregular en su continuidad, sin embargo proporcionó información valedera para fines cualitativos.

### 2.3.8 Precipitación

Se recopilaron los valores totales mensuales de la misma estación de Salinas ( $2^{\circ} 3.5' N$ ,  $80^{\circ} 59.7' 24'' W$ ), los cuales fueron posteriormente analizados con los datos históricos existentes.

## CAPITULO III

### CONDICIONES OCEANOGRAFICAS, METEOROLOGICAS Y GEOLOGICAS.

#### 3.1 GEOLOGIA

##### 3.1.1 Geología Regional

Una breve descripción de la región y sus posibles áreas de aporte sedimentario es dada para identificar las fuentes de material que llega a la playa de San Pedro.

Al sur de San Pedro, el promontorio rocoso de Ayangué con sus acantilados inestables que enmarcan pequeñas playas embolsadas representa una potencial fuente sedimentaria mediante la erosión por olas o desmoronamiento en épocas lluviosas. Posibles efectos de erosión eólica también podrían ocurrir en estos sectores.

Los ríos Valdivia, Simón Bolívar y Manglaralto constituyen otra fuente importante de sedimentos. La precipitación normalmente alcanza valores apreciables en los primeros meses del año, pero en la época lluviosa en que se realizó este estudio tuvo valores medios de precipitación ubicados bajo lo normal (figura 23). En general, las barreras de los tres ríos que desembocan en la ensenada San Pedro-Manglaralto no se rompieron durante la época indicada, impidiendo de esta manera un aporte significativo de sedimentos fluviales a la zona de interés.

Al pie de la Punta San Antonio el fondo de coral resultaría otra fuente de material cuando en épocas de fuerte oleaje se produce el rompimiento de la estructura coralina que luego es transportada en fragmentos por las corrientes costeras.

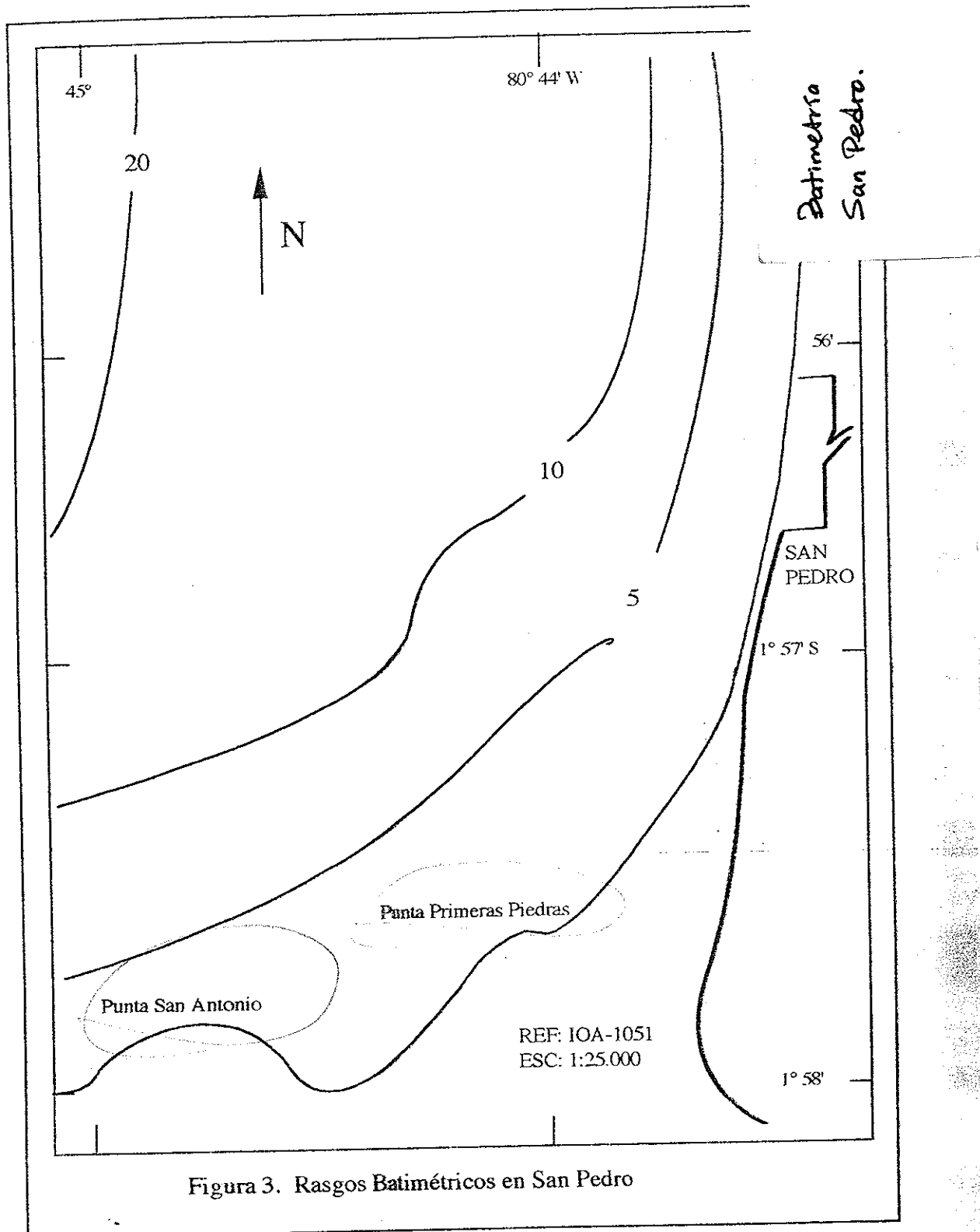


Figura 3. Rasgos Batimétricos en San Pedro

Los sedimentos de la plataforma marina adyacente a la playa representan otra fuente de materiales, los mismos que son transportadas hacia la playa por el efecto del transporte estokiano de las olas. El transporte desde la playa hacia mar adentro es el producto de las corrientes de resaca.

### 3.1.2 Morfología submarina.

Levantamientos batimétricos de la zona costera del área de interés se pueden encontrar en los planos IOA 105 y en mayor detalle en el plano IOA 1051 (figura 3), ambos realizados por el INOCAR en 1980, en los cuales se aprecia que los veriles cercanos a la costa se muestran paralelos a ella.

La presencia del Bajo de Montañita y del Islote El Pelado, ubicados aproximadamente a 32 y 7 Km de la costa, hacia el noroeste y oeste del área de interés, respectivamente, altera las características del oleaje que por ellos atraviesa para llegar a la zona de Valdivia, sobre todo aquellos procedentes del noroeste y oeste.

El levantamiento batimétrico presentado por Chang en mayo/88 muestra los veriles más unidos entre si y cercanos a la costa hacia el norte; y, debido a la presencia de la Punta San Antonio, más separados y alejados de la playa hacia el sur, implicando que las mayores profundidades están más cercanas a la costa en el norte (figura 4).

No se observan cambios significantes en la topografía submarina entre el levantamiento de Zambrano (1982) y el presentado en este estudio.

La zona de playa ubicada entre la berma y la línea de bajamar posee una pendiente promedio de 4.1 % que se mantiene con variaciones menores a 0.5 % explicadas por las cúspides de la playa, en tanto que la altura de la berma aumenta en el norte.

Perfiles batimétricos se han elaborado en base a la figura 4 (figuras 5 y 6). Para ello se consideró como base la berma del día, por lo tanto ésta representa el cero del gráfico en la escala horizontal. El nivel medio del mar (MSL) representa el cero de la escala vertical.



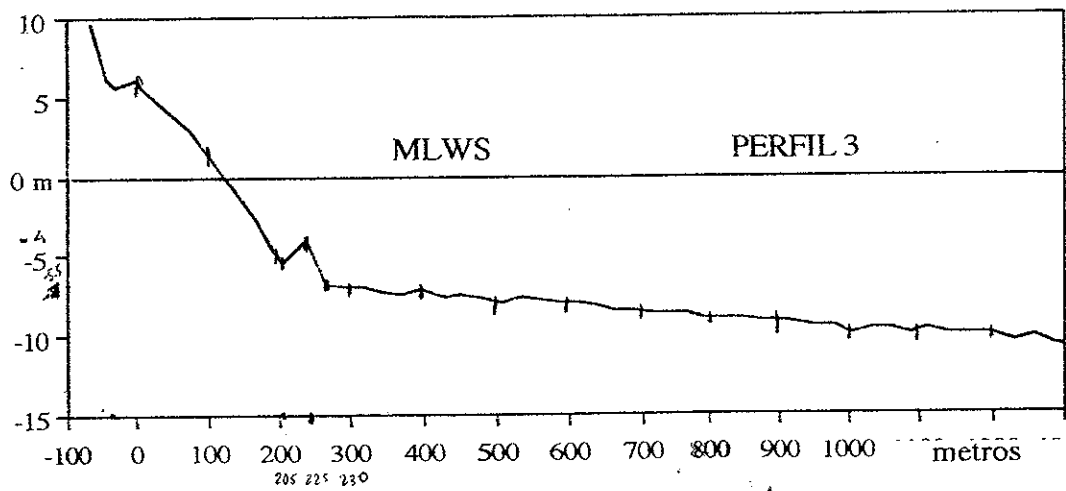
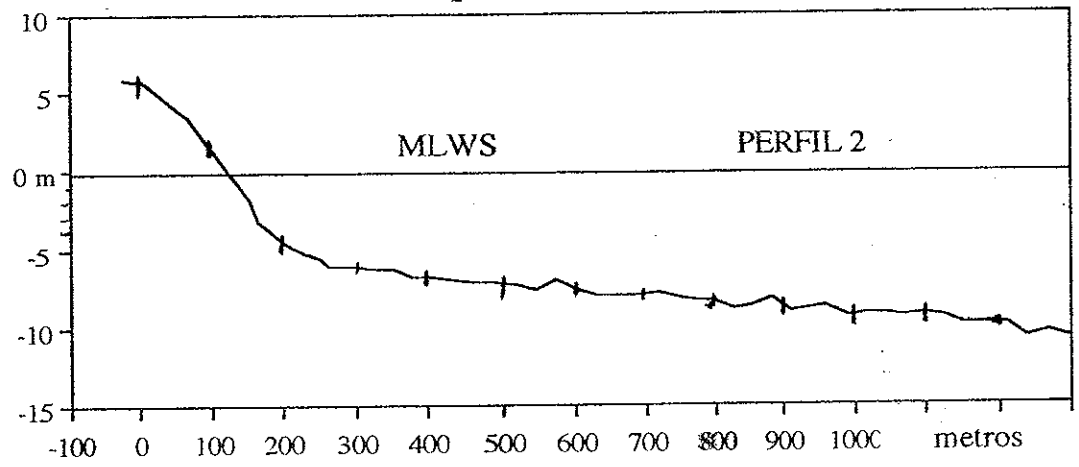
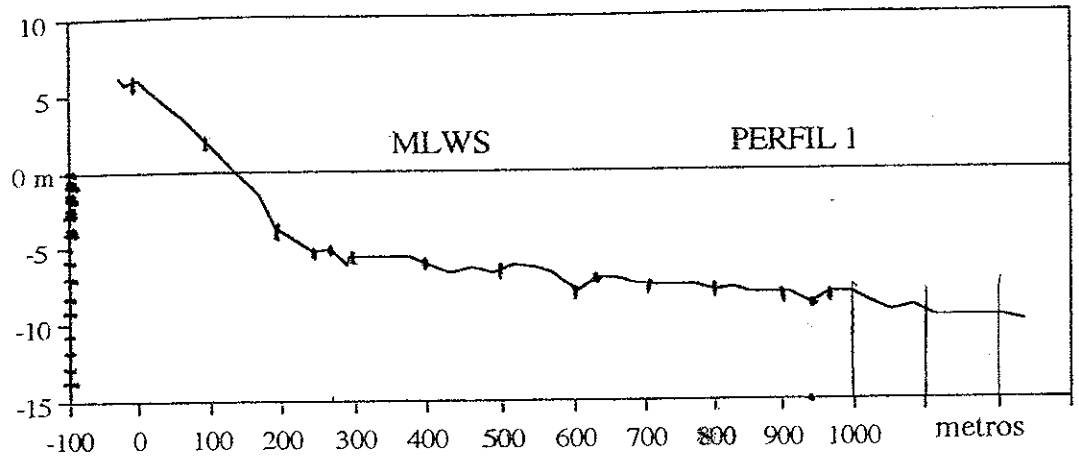


Figura 5. Perfiles batimétricos del área frente al CENAIM

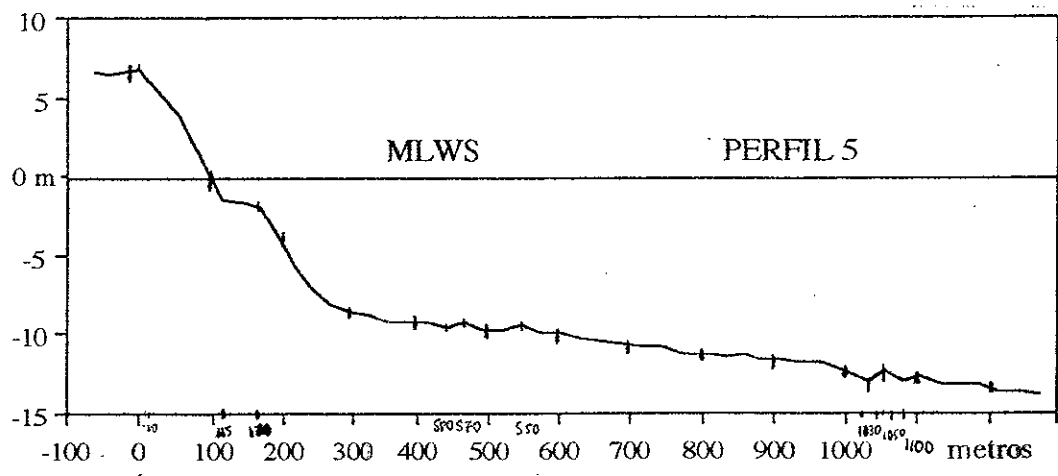
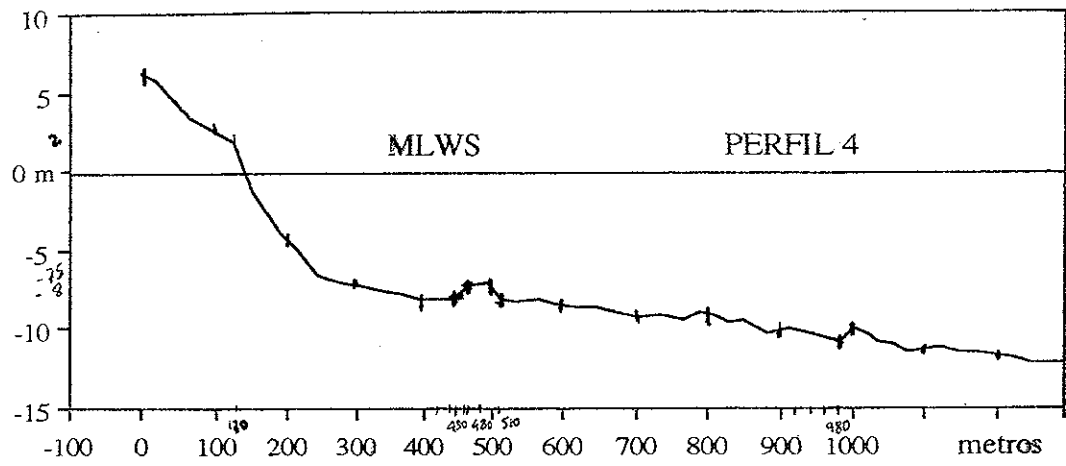


Figura 6. Perfiles batimétricos del área frente al CENAIM

En el perfil 5, la configuración de la zona comprendida entre la berma y los 7 m de profundidad presenta una irregularidad que podría tratarse de una barra litoral que se extiende desde este punto hacia el norte. Lamentablemente no se ha realizado un seguimiento continuo de la topografía submarina de modo que resulta imposible precisar si existe o no dicha barra, y en caso de existir, conocer su desplazamiento.

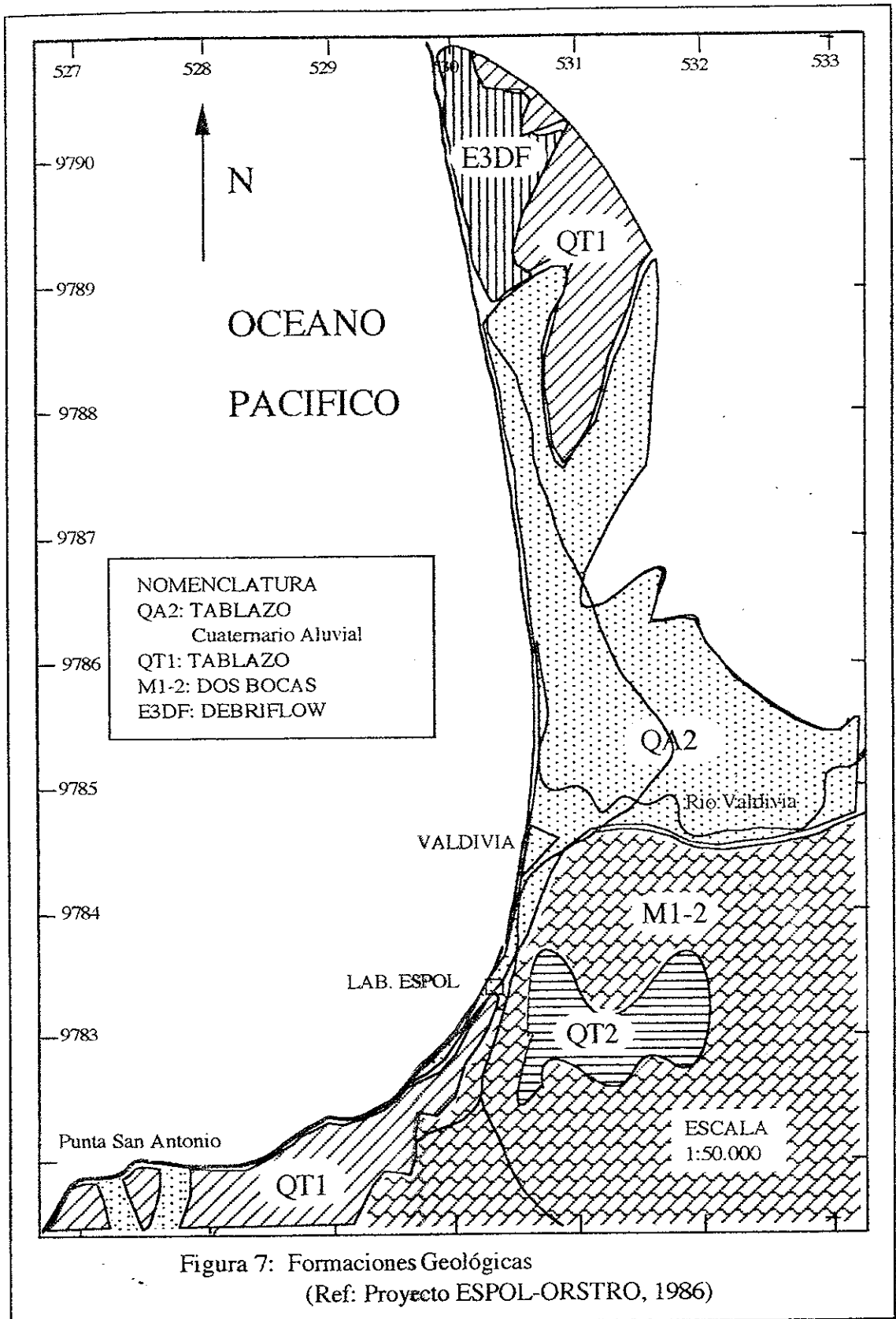
Cabe indicar que al realizar el sondeo, los valores reales de profundidad podrían ser alterados por el paso de las olas, sobre todo cerca y dentro de la rompiente; por esto es recomendable dar los tops en lo posible en el mismo punto de la ola, en la cresta, en el valle o en algún punto intermedio.

### 3.1.3 Formaciones costeras

Según información proporcionada por un geólogo de la ESPOL (Rengel, J., Comunicación Personal, 1990), la ensenada San Pedro Montañita está constituida por cuatro tipos de formaciones. Primero, la zona de acantilados al sur pertenece a la formación Tablazo del Cuaternario, con conglomerados y areniscas de ambiente marino somero, cuyos constituyentes al ser erosionados por el oleaje aportan directamente al transporte litoral. Subyaciendo en discordancia al Tablazo se encuentra el Miembro Dos Bocas de la formación Tosagua, que aflora desde Punta Primeras Piedras. Sobre este miembro está asentada la población de San Pedro (figura 7). Rocas arcillosas de grano fino son característicos de esta formación.

El sector comprendido entre Valdivia y Playa Bruja, y entre Simón Bolívar y Montañita corresponde a la formación Tablazo, del cuaternario, que se halla representada por areniscas y conglomerados de origen aluvial. nuevamente con rocas sedimentarias y además con salitrales aluviales mal consolidados.

Punta Montañita está constituida por areniscas y conglomerados localmente calcáreos de ambiente marino somero, evidenciado por hallazgo de vertebras de mamíferos terrestres y material leñoso. En base a esto se mantiene como punto de discusión la hipótesis sostenida en el informe del proyecto ESPOL-ORSTO de que las rocas de Punta Montañita pertenecen a la formación San Pablo del Eoceno



Medio. De acuerdo con algunos especialistas estos depósitos pertenecen al Oligoceno Superior-Mioceno Inferior (Rengel, 1990).

### 3.1.4 Análisis Granulométrico

Se ha realizado un estudio granulométrico de 19 muestras de sedimentos superficiales de fondo y 5 muestras tomadas a lo largo de la playa en la zona intermareal. La ubicación de las muestras indicada en la figura 8a es aproximada de acuerdo a lo indicado en 2.3.3. La profundidad del agua de los sitios donde se tomaron las muestras y el porcentaje de sus constituyentes principales se observa en la tabla I, los parámetros estadísticos en la tabla II y la clasificación de los sedimentos de acuerdo a los anteriores en la tabla III.

La textura de un sedimento depende de ciertos factores como lugar de origen, transporte y el tamaño inicial. La figura 8b muestra la distribución espacial de los sedimentos de fondo de acuerdo con su textura, según el porcentaje de los tres constituyentes principales: arena, limo y arcilla que contenían las muestras. De acuerdo con grupo textural, las muestras limosas, ubicadas hacia el norte lejos de la rompiente, predominan en el área, siguiéndole las limo arenosas, las arenas limosas y en pequeña cantidad las arenas, localizadas frente a la desembocadura del Río Valdivia y junto a la rompiente, donde se produce un lavado del material, llevándose los limos y arcillas a zonas de aguas más tranquilas.

Para la clasificación de los sedimentos se utilizaron las clases de tamaño de grano según Wentworth (1922). En la figura 9a, se muestra que las arenas muy finas (3.25-4.00 phi) están ubicadas junto a la rompiente en toda el área muestreada y un poco más lejos de ella hacia el sur, formando una franja paralela a la línea de playa. Todo el sector muestreado que está alejado de la rompiente es constituido por limo grueso (4.50-5.00 phi).

Referente al grado de selección, un sedimento bien seleccionado significa que tiende a presentar un tamaño único. Este parámetro depende de la efectividad de un agente selectivo, que por lo general es dinámico, por lo tanto definirá los sedimentos más afectados por algún tipo de transporte. La distribución de los sedimentos de acuerdo al grado de selección se indica en la figura 9b. Las muestras son bien clasificadas en la rompiente donde se produce una selección

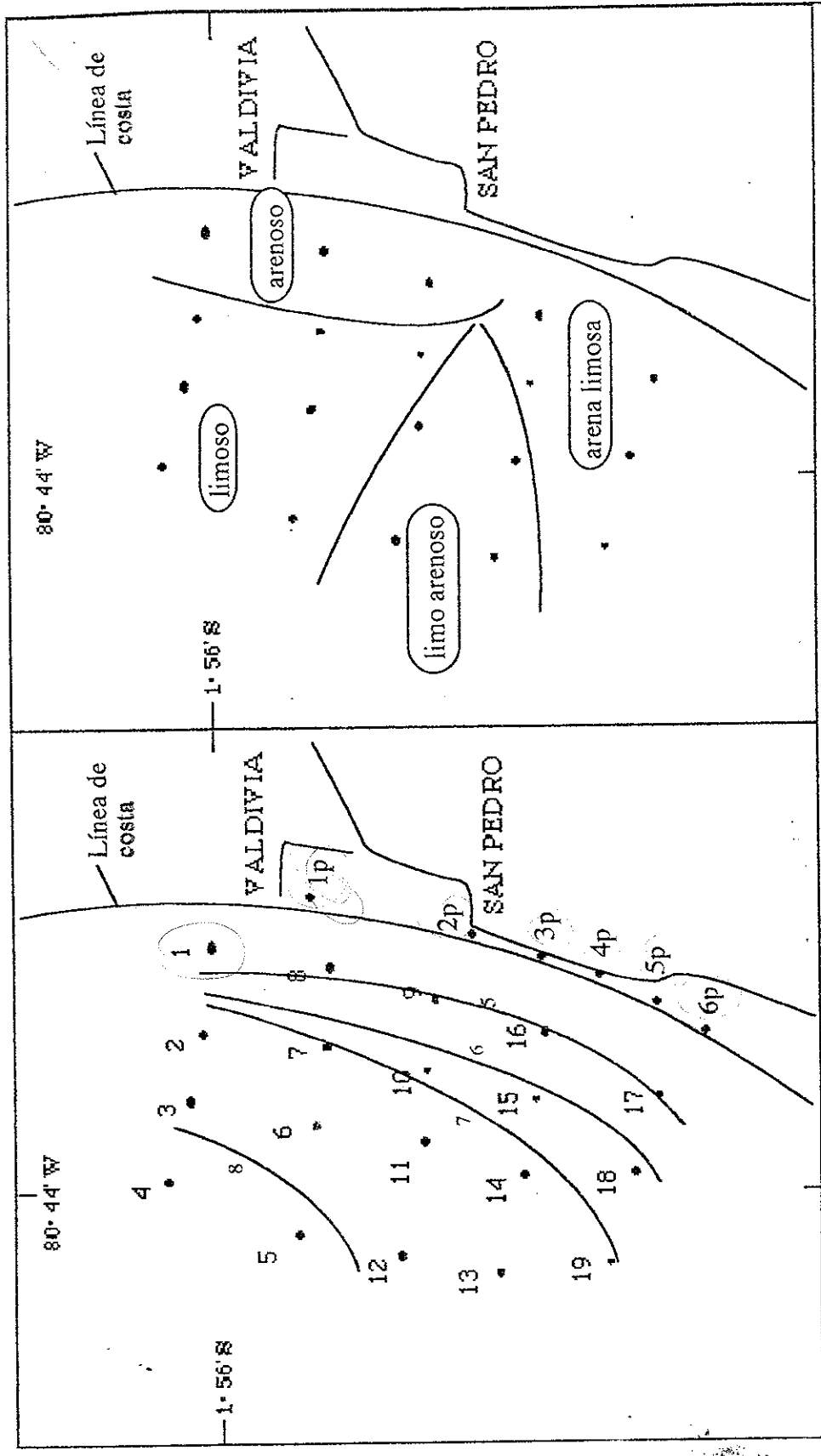


Figura 8a. Ubicación de la toma de muestras

Figura 8b. Textura de los sedimentos de fondo en San Pedro-Valdivia

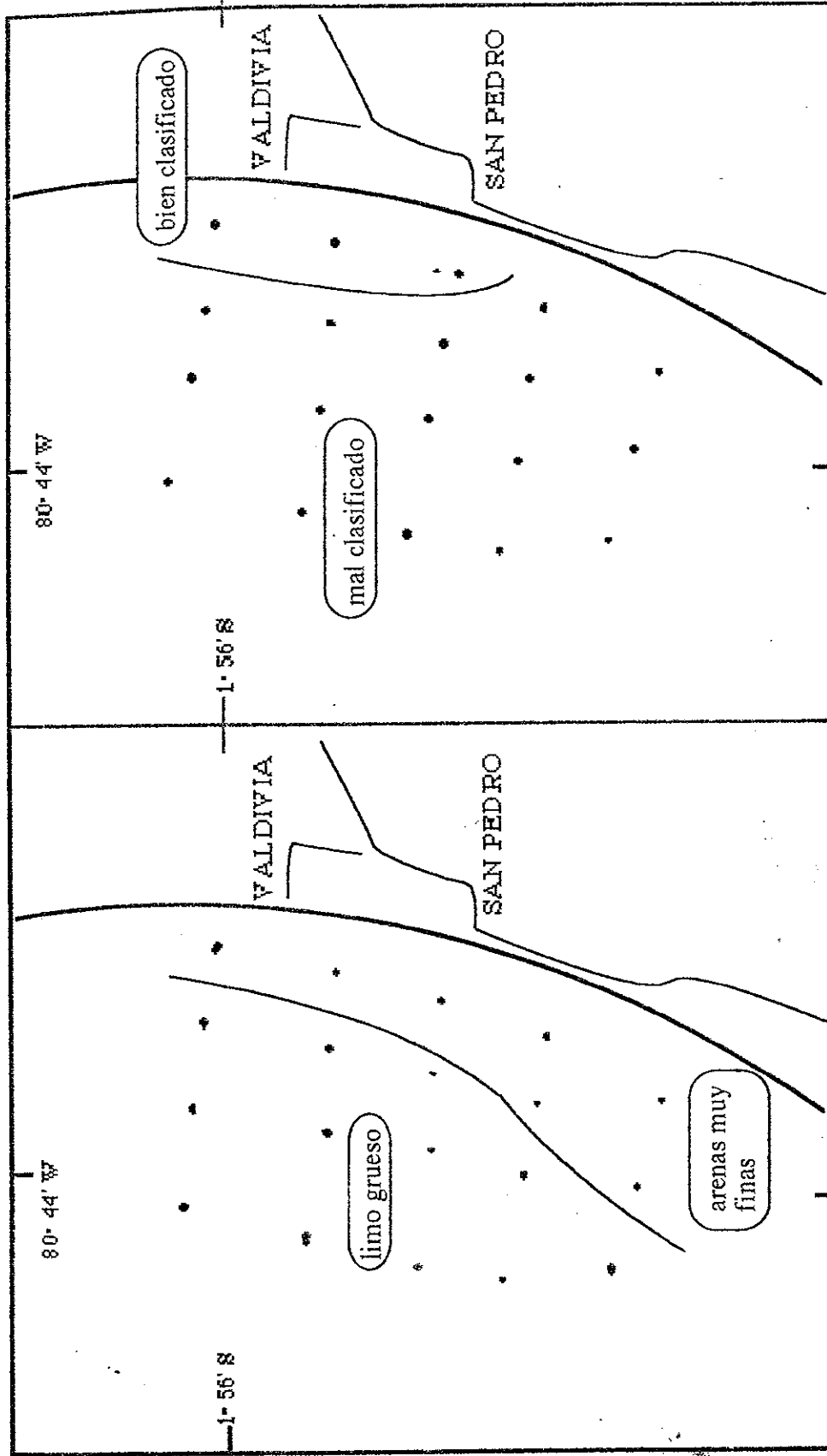


Figura 9a. Fracción Predominante de los sedimentos de fondo en San Pedro-Valdivia

Figura 9b. Selección de los sedimentos de fondo en San Pedro-Valdivia

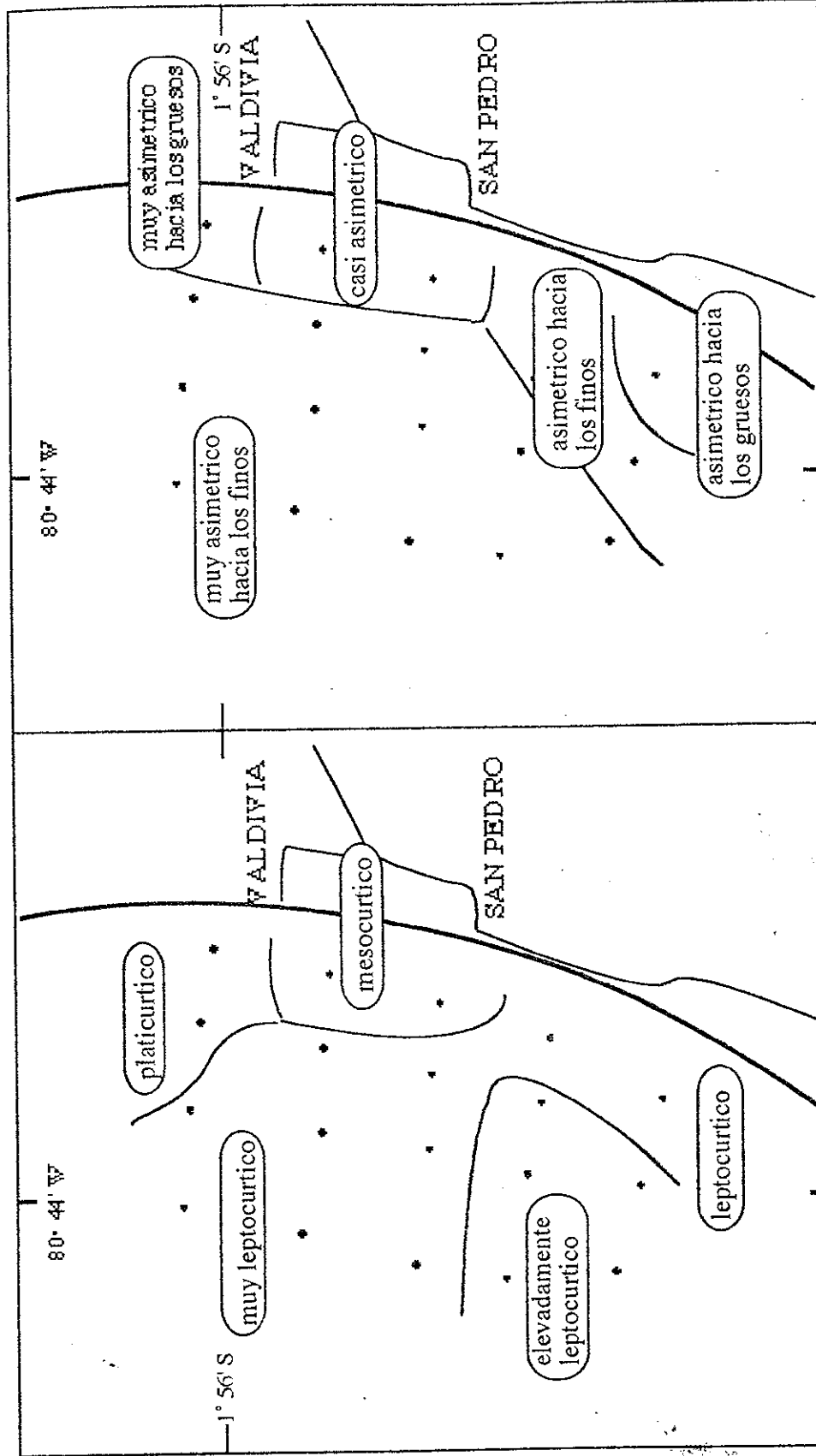


Figura 10a. Curtosis de los sedimentos de fondo en San Pedro-Valdivia

Figura 10b. Asimetría de los sedimentos de fondo en San Pedro-Valdivia



del sedimento por el continuo trabajo que realizan las olas. El resto del área está representada por muestras mal clasificadas debido a la baja energía.

La figura 10a indica la distribución de los sedimentos según la curtosis, en ella se observa que lejos de la rompiente existe una predominancia de sedimentos leptocúrtico, elevadamente leptocúrticos, localizados los primeros hacia el norte y los segundos hacia el sur, a excepción de dos muestras mesocúrticas en la zona norte y leptocúrticos en el sur. Frente a la desembocadura del río se encuentran sedimentos platicúrticos; conforme se alejan de ella se observan sedimentos mesocúrticos y luego leptocúrticos.

La asimetría depende de la dinámica actual, y, en menor grado, de las características heredadas de las áreas fuentes (Villwock, 1978). Este parámetro es uno de los más sensibles en la caracterización de ambientes sedimentarios. La figura 10b muestra los valores de asimetría distribuidos en el área de estudio, en el cual se observa los sedimentos muy asimétricos hacia los finos fuera de la rompiente. Junto a la rompiente se localizan en el sector norte los sedimentos muy asimétricos hacia los gruesos, los casi asimétricos y simétricos en la zona central y simétricos hacia los gruesos en el extremo sur. Material fino es lavado de la zona de rompiente debido a la alta energía y transportado hacia zonas de aguas tranquilas donde se asienta en el fondo. Cerca de Punta Primeras Piedras el oleaje es mayor que en la zona central de la rompiente del área estudiada, por lo que la muestra cercana a este sitio es asimétrica hacia los gruesos.

### 3.1.5 Análisis Minerológico

La determinación de la composición mineralógica de los sedimentos ayuda a entender los procesos costeros en el área de estudio, sea como un elemento de apoyo para ubicar las fuentes de los sedimentos por su comportamiento deposicional de los minerales componentes o por su efecto sobre la densidad de los sedimentos que es un factor que interviene en el análisis de los procesos costeros.

En la fracción liviana el porcentaje varía de 96.28 % al 99.58 %, los minerales encontrados dentro de esta fracción fueron cuarzo, feldespatos, fragmentos calcáreos y fragmentos de rocas. En la tabla IV se observan los porcentajes de la

composición mineralógica de livianos, realizados en la fracción perteneciente a la malla #120, observándose la predominancia del cuarzo sobre los feldspatos. Los fragmentos de rocas ocupan un porcentaje importante dentro de la composición mineralógica, siendo éstos en su mayoría restos de conchas y organismos marinos.

La fracción pesada varía de 0.42 a 3.72 %, la muestra que mayor porcentaje de pesados presentó fue la #19. Los minerales encontrados dentro de esta fracción son: piroxenos, anfíboles, rutilos, epidota, turmalina, granate, magnetita, biotita, siderita y circón. La tabla V muestra los porcentajes de la composición mineralógica de pesados.

En lo que tiene que ver con el origen de los sedimentos del área se indica que existen fuentes evidentes de sedimentos como son los ríos Valdivia, Bolívar y Manglaralto. Al romperse la barrera durante la época lluviosa arrojan sedimentos arenosos y finos al área. Frente al laboratorio de la ESPOL el lavado de los cerros circundantes durante la época invernal que se concentra en el drenaje existente contiguo al laboratorio, descarga materiales limosos y arcillosos del Miembro Dos Bocas, lo cual ha sido notado por el aumento en la turbidez del agua y que se refleja en la distribución de los sedimentos. De acuerdo con Villacrés (comunicación personal), la mayoría de los sedimentos encontrados en el área presentan un alto índice de rodamiento y esfericidad.

**TABLA I. Composición de los sedimentos**

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	GRAVA (%)	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	CLASE DE TAMAÑO
1	4	0.00	86.40	11.56	1.78	arena muy fina
2	7.5	0.00	22.98	57.68	26.43	limo grueso
3	8	0.24	24.62	59.51	12.84	limo grueso
4	9	0.00	21.45	64.09	14.22	limo grueso
5	8	0.00	21.69	68.02	8.95	limo grueso
6	8	0.00	24.04	62.42	11.37	limo grueso
7	7	0.00	22.81	63.21	13.43	limo grueso
8	4	0.00	95.77	0.00	0.00	arena muy fina
9	5	0.00	95.93	2.02	1.68	arena muy fina
10	6	0.10	21.08	67.66	8.99	limo grueso
11	7.5	0.00	27.39	58.43	13.15	limo grueso
12	8	0.56	30.78	58.51	9.02	limo grueso
13	8	0.64	41.67	48.65	8.04	limo grueso
14	7.5	0.19	49.76	45.32	4.27	limo grueso
15	6	2.32	52.39	36.24	8.02	arena muy fina
16	5	1.28	59.89	28.79	9.50	arena muy fina
17	4	2.21	56.18	40.40	0.68	arena muy fina
18	6	1.07	57.89	34.79	5.70	arena muy fina
19	7	0.01	51.12	41.91	6.17	limo grueso

**TABLA II. PARAMETROS ESTADISTICOS**

MUESTRA	MEDIA (mm)	MEDIANA (mm)	ASIMETRIA	CURTOSIS
1	0.0877	0.0845	-0.1636	0.8769
2	0.0204	0.0294	0.3367	0.952
3	0.0301	0.0512	0.6459	1.2066
4	0.0323	0.0556	0.7310	1.3374
5	0.0376	0.0580	0.7286	1.8367
6	0.0322	0.0547	0.7099	1.3752
7	0.0279	0.0397	0.4927	1.116
8	0.1086	0.1100	0.0629	0.924
9	0.1014	0.1023	0.0323	1.026
10	0.0280	0.0406	0.4829	1.1508
11	0.0339	0.0565	0.6691	0.9983
12	0.0375	0.0601	0.6582	1.2846
13	0.0514	0.0614	0.3725	4.6563
14	0.0543	0.0625	0.3707	3.2212
15	0.0601	0.0675	0.2281	6.9423
16	0.0549	0.0716	0.2905	1.2591
17	0.0928	0.0777	-0.2580	1.3882
18	0.0644	0.0676	0.1362	5.8862
19	0.0517	0.0632	0.4916	4.7552

**TABLA III. CLASIFICACION DEL SEDIMENTO**

MUESTRA	TEXTURA	SELECCION	ASIMETRIA	CURTOSIS
1	arenosa	bien clasificado	a.h.g.	P
2	limo arcillosa	mal clasificado	m.a.h.f.	M
3	limosa	mal clasificado	m.a.h.f.	L
4	limosa	mal clasificado	m.a.h.f.	L
5	limosa	mal clasificado	m.a.h.f.	ML
6	limosa	mal clasificado	m.a.h.f.	L
7	limosa	mal clasificado	m.a.h.f.	L
8	arenosa	bien clasificado	c.a.	M
9	arenosa	bien clasificado	c.a.	M
10	limosa	mal clasificado	m.a.h.f.	L
11	limo arenosa	mal clasificado	m.a.h.f.	M
12	limo arenosa	mal clasificado	m.a.h.f.	L
13	limo arenosa	mal clasificado	m.a.h.f.	EL
14	arena limosa	mod. clasificado	m.a.h.f.	EL
15	arena limosa	mal clasificado	a.h.f.	EL
16	arena limosa	mal clasificado	a.h.f.	L
17	arena limosa	mal clasificado	a.h.g.	L
18	arena limosa	mal clasificado	a.h.f.	EL
19	arena limosa	mal clasificado	m.a.h.f.	EL

**TABLA IV. Minerales livianos en los sedimentos de fondo en San Pedro-Valdivia**

MUESTRA	% Livianos	% Pesados	CUARZO	FELDEPATOS	FRAG.CALC.	FRAG.ROCAS
1 P.	99.28	0.72	63.46	23.38	10.46	3.07
2 P.	99.17	0.83	58.79	21.75	16.83	2.63
3 P.	98.95	1.05	61.31	26.28	10.56	1.45
4 P.	98.16	1.84	50.92	33.69	13.27	2.13
5 P.	98.96	1.04	45.86	35.60	12.23	6.31
6 P.	98.92	1.08	68.20	19.41	10.25	2.13
1	99.59	0.42	59.57	4.88	35.52	-
3	98.29	1.71	12.74	-	-	87.25
4	97.29	2.71	35.48	-	-	64.52
7	96.34	3.66	2.93	-	-	-
8	96.98	3.02	-	-	-	-
15	97.98	2.11	24.61	3.87	50.26	21.24
19	96.28	3.72	5.87	-	-	94.12

**TABLA V Minerales pesados en los sedimentos de  
fondo en San Pedro-Valdivia**

MUESTRA	piroxeno (%)	anfíboles (%)	magnetita (%)	epidotas (%)	granate (%)	rutilo (%)	hidroxidos (%)	turmalino (%)	siderita (%)	frag. calc. (%)
1 P.	10.89	19.37	1.57	0.96	2.90	3.81	-	-	24.22	32.03
2 P.	11.34	26.37	3.26	4.65	3.87	6.10	1.19	0.75	17.45	18.42
3 P.	9.62	17.11	3.09	1.90	-	-	5.58	-	30.34	30.20
4 P.	8.67	22.18	-	3.85	-	-	4.24	-	18.08	42.94
5 P.	19.80	16.62	2.24	1.95	-	1.28	4.30	-	8.55	42.68
6 P.	8.75	14.59	2.08	3.89	1.94	-	-	-	24.32	43.32
1	21.63	44.12	3.70	11.13	-	-	2.66	-	5.65	11.08
3	7.37	10.92	-	-	-	-	-	-	-	81.70
4	26.49	34.70	4.02	7.43	-	1.62	2.64	-	-	22.07
7	41.43	45.42	1.76	1.22	-	-	3.60	-	5.90	-
15	12.31	31.28	1.16	8.69	-	-	9.16	-	9.86	26.47
18	7.38	10.04	3.55	-	-	-	-	-	-	77.01
19	14.26	15.60	1.25	3.50	-	1.28	8.59	0.94	2.43	52.11

## 3.2 OCEANOGRAFIA

### 3.2.1 Mareas

Las mareas son importantes para la geomorfología costera porque llevan a cambios regulares en el nivel del mar a lo largo de la costa, y porque las corrientes son generadas como flujo y reflujo (Bird, 1969). Además, las variaciones en el nivel del mar determinan el área tanto de playa como adyacente, sobre la cual se desarrollan los procesos litorales.

La marea característica en toda la costa ecuatoriana es del tipo semidiurna.

Las variaciones del nivel del mar han sido registradas en varios sitios cercanos a San Pedro: en Valdivia se tomaron datos en septiembre de 1981 y éstos fueron analizados por Zambrano (1982) y Allauca (1985); INOCAR tiene registros de Monteverde del 7 de mayo al 9 de abril de 1981 y, de La Libertad, del cual se han tomado datos desde 1948.

Una comparación gráfica entre las mareas de La Libertad, Monteverde y Valdivia es presentada por Allauca (1985) (figura 11). En ella se puede observar que las mareas en estas tres localidades presentan características similares en rango, en tanto que existe un desfase de escasos minutos en el tiempo de ocurrencia de pleamares y bajamares. Los valores de amplitud del rango de marea son muy semejantes, oscilando aproximadamente entre 2.5 y 3.0 m en toda la costa ecuatoriana.

Por lo expuesto, para el presente estudio es posible referirse a los resultados de mareas obtenidos para Monteverde, y son:



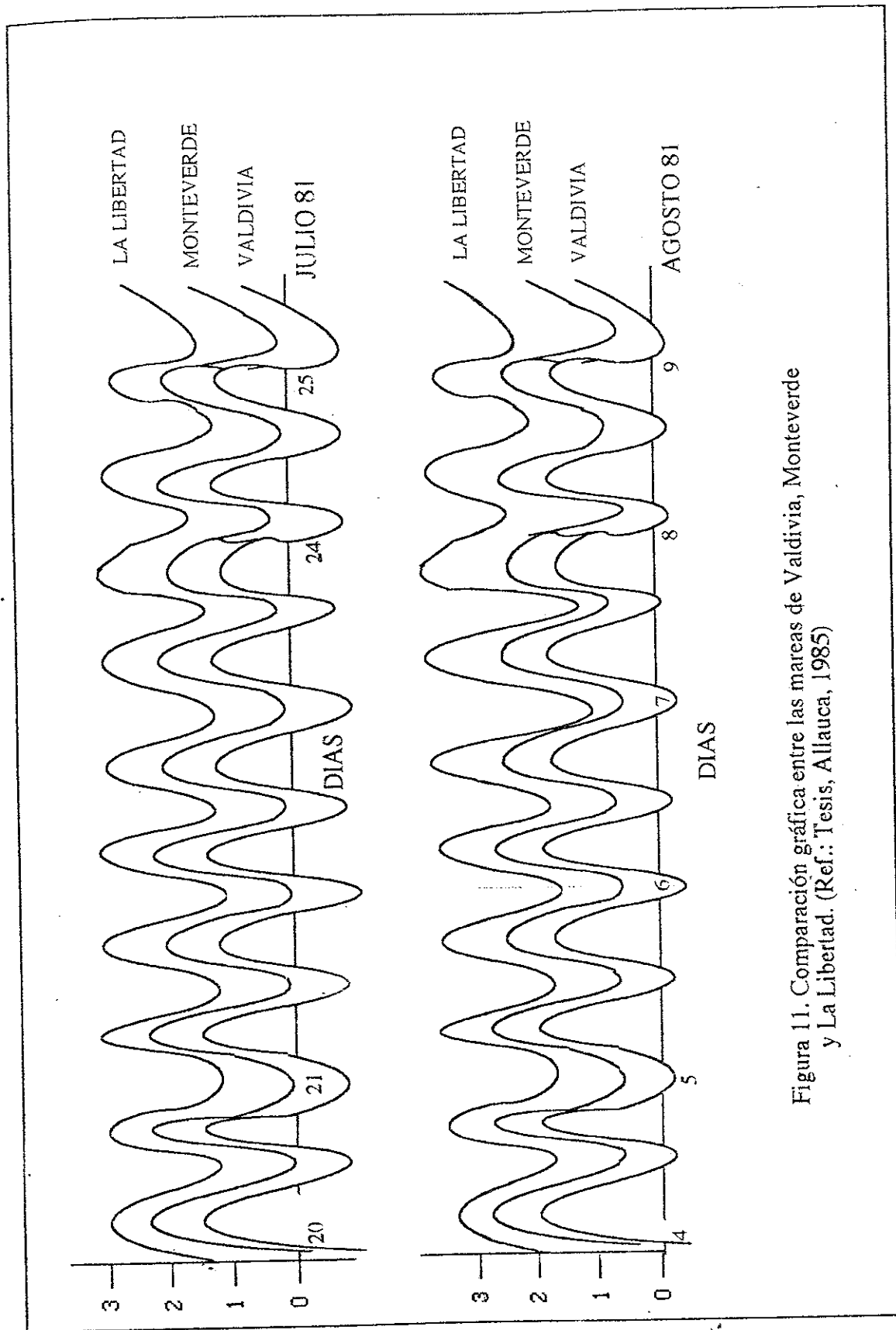


Figura 11. Comparación gráfica entre las mareas de Valdivia, Monteverde y La Libertad. (Ref.: Tesis, Allauca, 1985)

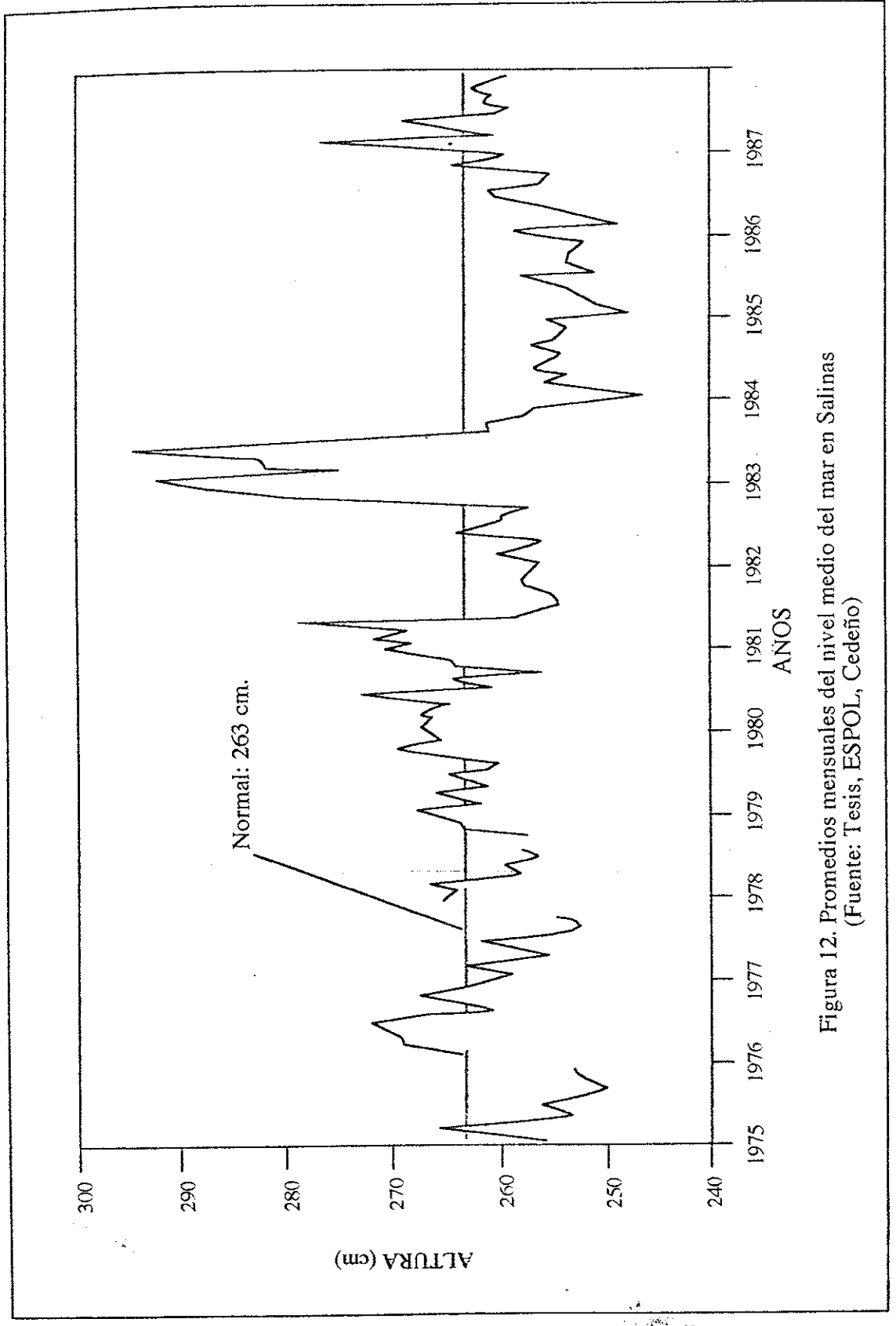


Figura 12. Promedios mensuales del nivel medio del mar en Salinas  
(Fuente: Tesis, ESPOL, Cedeño)

Máxima marea astronómica (HT)	4.58 m
Promedio de pleamares de sicigia (MHWS)	4.48 m
Promedio de pleamares mayores diarias (MHHW)	4.09 m
Promedio de pleamares (MHW)	4.03 m
Promedio de pleamares de cuadratura (MHWN)	3.63 m
Nivel medio del mar (MSL)	3.13 m
Nivel medio de la marea (MTL)	3.12 m
Promedio de bajamares de cuadratura (MLWN)	2.72 m
Promedio de bajamares (MLW)	2.22 m
Promedio de bajamares mayores (MLLW)	2.14 m
Promedio de Bajamares de sicigia (MLWS)	1.69 m
Rango de sicigia	2.79 m
Bajamar más baja del mes (LT)	1.68 m

El nivel medio del mar (MSL) registrado en La Libertad tiene sus variaciones a lo largo del tiempo, variaciones que se han presentado durante la ocurrencia de fenómenos oceánicos y atmosféricos. El principal es el fenómeno El Niño. La variación del MSL es variable dependiendo de la intensidad del fenómeno, habiendo alcanzado valores de hasta 50 cm sobre el nivel medio en el año 1983 (figura 12). Una elevación del MSL que se mantiene durante varias semanas o meses produce efectos de erosión debido a que el área de rompientes se desarrolla sobre zonas donde normalmente no tiene su acción el oleaje.

### 3.2.2 Oleaje

Las formas fisiográficas ribereñas son producidas por una diversidad de procesos que actúan sobre la zona costera (Bird, 1981). Entre estos procesos predomina la acción de las olas generadas por vientos que soplan sobre el mar y avanzan para romper en la costa, donde son responsables de la erosión y la deriva litoral de sedimentos (Komar, 1983).

Las olas agitan y sacan del reposo a los sedimentos del fondo y generan una variedad de corrientes cercanas a la playa, las cuales a su vez transportan los sedimentos hacia la costa, hacia afuera y a lo largo de la misma, resultando en un reordenamiento de la línea de costa.

Ha sido establecido que un ambiente litoral expuesto directamente al océano es altamente influenciado por el oleaje dominante. Dado que la zona de San Pedro presenta esta propiedad es imprescindible conocer las características del oleaje incidente en el área con la finalidad de estimar el flujo de energía y las fuerzas que se generan a lo largo de la costa. Dichas estimaciones luego serán consideradas en el planeamiento, diseño y construcción de estructuras costeras.

### 3.2.2.1 Antecedentes y estudios anteriores

San Pedro posee una playa expuesta a alta energía de oleaje. Las olas que llegan a sus costas pueden ser divididas en 4 categorías de acuerdo al origen o a su dirección de aproximación: del suroeste (SO), del oeste (O), del noroeste (NO) y originadas por vientos locales. La mayoría de olas proviene de marejadas del SO, generadas por tempestades en el Pacífico Meridional Central, frente a la parte sur del continente americano. Estas tormentas son más frecuentes de mayo a octubre y muy comunes en agosto y septiembre.

Durante el invierno del Hemisferio Norte, especialmente en enero y febrero, tormentas ocurridas en el Pacífico Septentrional generan marejadas de gran intensidad que inciden, dada la exposición directa de la costa de San Pedro al oleaje proveniente de esta dirección, sobre el área de estudio y sobre los procesos litorales que se generan.

En la costa ecuatoriana, oleajes procedentes de grandes distancias se presentan con período de olas generalmente superior a 12 seg (5), es decir, mares de leva.

En 1985, Allauca realizó un estudio preliminar del oleaje en el área de Valdivia. Determinó que las mayores frecuencias de ocurrencia de las alturas significativas oscilaron entre 0.4 y 0.6 m. La máxima altura significativa encontrada fue de 1.18 m siendo el valor medio de 0.53 m.

Las olas generadas por vientos son cortas y empinadas. En condiciones máximas de viento (8-16 m/s), cuyas intensidades son mayores para noviembre y diciembre, se tienen períodos entre 3-5 s y alturas entre 0.7

y 1.7 m

Por otro lado, estudios del oleaje en diversos puntos de la costa ecuatoriana, determinaron que las olas con mayores alturas significativas se presentan con más frecuencia entre los meses de noviembre y abril. En Monteverde, entre enero y abril, se observó la presencia de olas más altas, no obstante, aparecieron algunos picos durante el resto del año (Allauca y Cardin, 1987).

De la información obtenida por el INOCAR en Monteverde, la altura de olas para aguas profundas fue de 0.49 m. Los datos históricos de esta localidad son de apreciable longitud (4 años) y permiten un mejor análisis del régimen de oleaje del área. En la tesis de Allauca (1985) se puede apreciar de las curvas acumulativas de olas medidas durante varias semanas en Valdivia y Monteverde, que existen similitudes. Por esto, y dada su cercanía (11 km), se podrían aplicar los datos de largo plazo de Monteverde con las debidas transformaciones al área de Valdivia.

#### 3.2.2.2 Refracción de olas

Conforme las olas provenientes de aguas profundas se acercan a la costa, empiezan a sentir el fondo y sus características son modificadas tanto en celeridad como en altura.

Desde lugares en que la profundidad es menor que la mitad de la longitud de onda ( $L_o/2$ ), los efectos friccionales del fondo retardan el avance de las olas. De esta manera, la topografía submarina influencia el patrón de olas que se acerca a la costa tendiendo a ubicar las crestas de las olas, cuando inciden con un ángulo respecto a los veriles, paralelas a las líneas de contorno (isóbatas). Esto es conocido como efecto de refracción de olas.

Con el conocimiento de la aproximación de olas en aguas profundas, su longitud de onda y período, y una detallada configuración del fondo marino, es posible elaborar diagramas de refracción.

Las modificaciones del oleaje son mostradas por las líneas ortogonales, trazadas a iguales intervalos, perpendiculares al alineamiento de las olas en aguas profundas. Ellas convergen hacia una punta saliente indicando concentración de la energía o divergen en las ensenadas, indicando esparcimiento de la misma.

El coeficiente de refracción  $K_r$  dado por  $(B_o/B)^{1/2}$ , donde  $B_o$  es el espaciamiento ortogonal en aguas profundas y  $B$  es el espaciamiento ortogonal en aguas someras, determina la variación de la energía del oleaje al acercarse a la costa y por ende la altura de olas.

Los diagramas de refracción también ayudan a estudiar la dirección de las corrientes a lo largo de la costa que se desarrollan donde las olas arriban con un ángulo respecto a la costa (Sheppard e Inman, 1950).

El análisis del efecto de la refracción en la zona ha sido determinado en base a diagramas elaborados para diferentes ángulos de incidencia en aguas profundas, tomando en consideración el ángulo de exposición de la costa y seleccionando los períodos que se presentan con mayor frecuencia.

Allauca (1985) y Allauca y Cardin (1987) efectuaron diagramas de refracción para el área de Valdivia. Las figuras (13, 14, 15 y 16) presentan diagramas de refracción elaborados con olas provenientes de aguas profundas del suroeste, oeste y noroeste y con períodos de 12, 14, 16 y 18 s; y los valores del coeficiente de refracción  $K_r$  encontrados por Allauca y Cardin son:

T (seg)	12	14	16	18
dirección				
SO	1.098	0.658	0.361	0.874
O	0.639	0.475	0.336	0.620
NO	0.437	0.633	0.620	0.452

Esto indica que las olas provenientes del SO con períodos de 12 seg incrementan su altura al acercarse a la zona de estudio. La energía de las

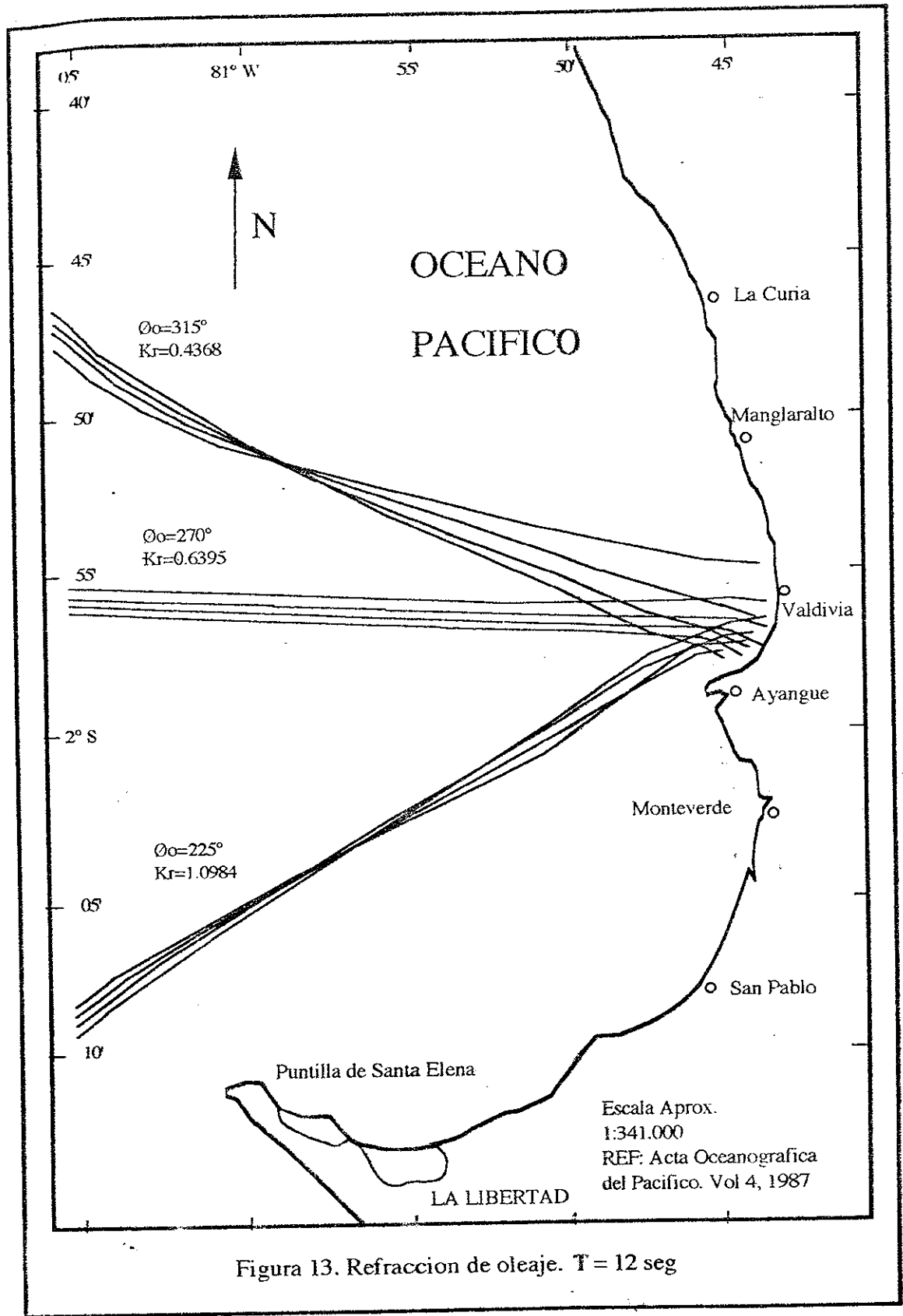


Figura 13. Refraccion de oleaje. T = 12 seg

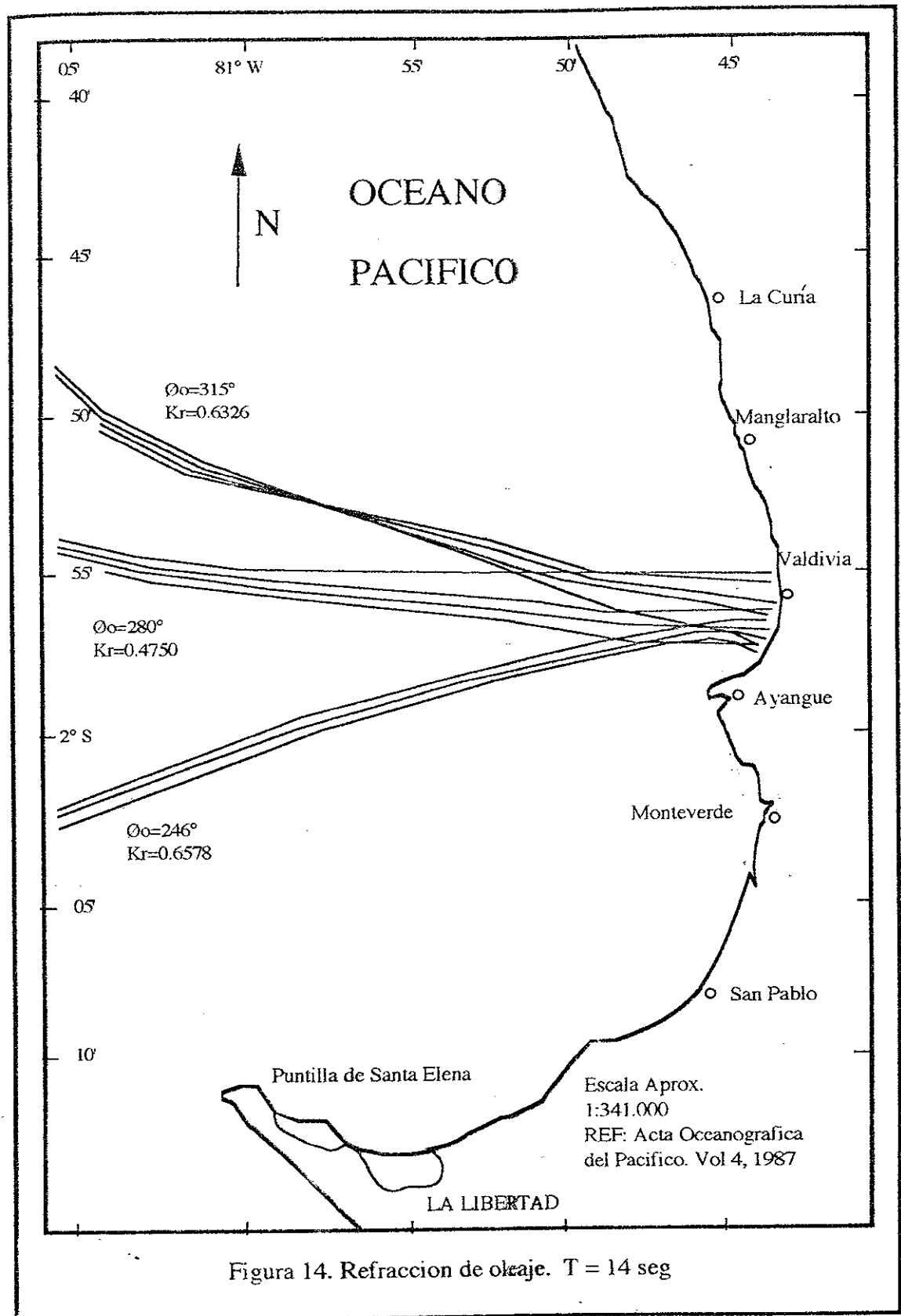


Figura 14. Refraccion de olaaje. T = 14 seg



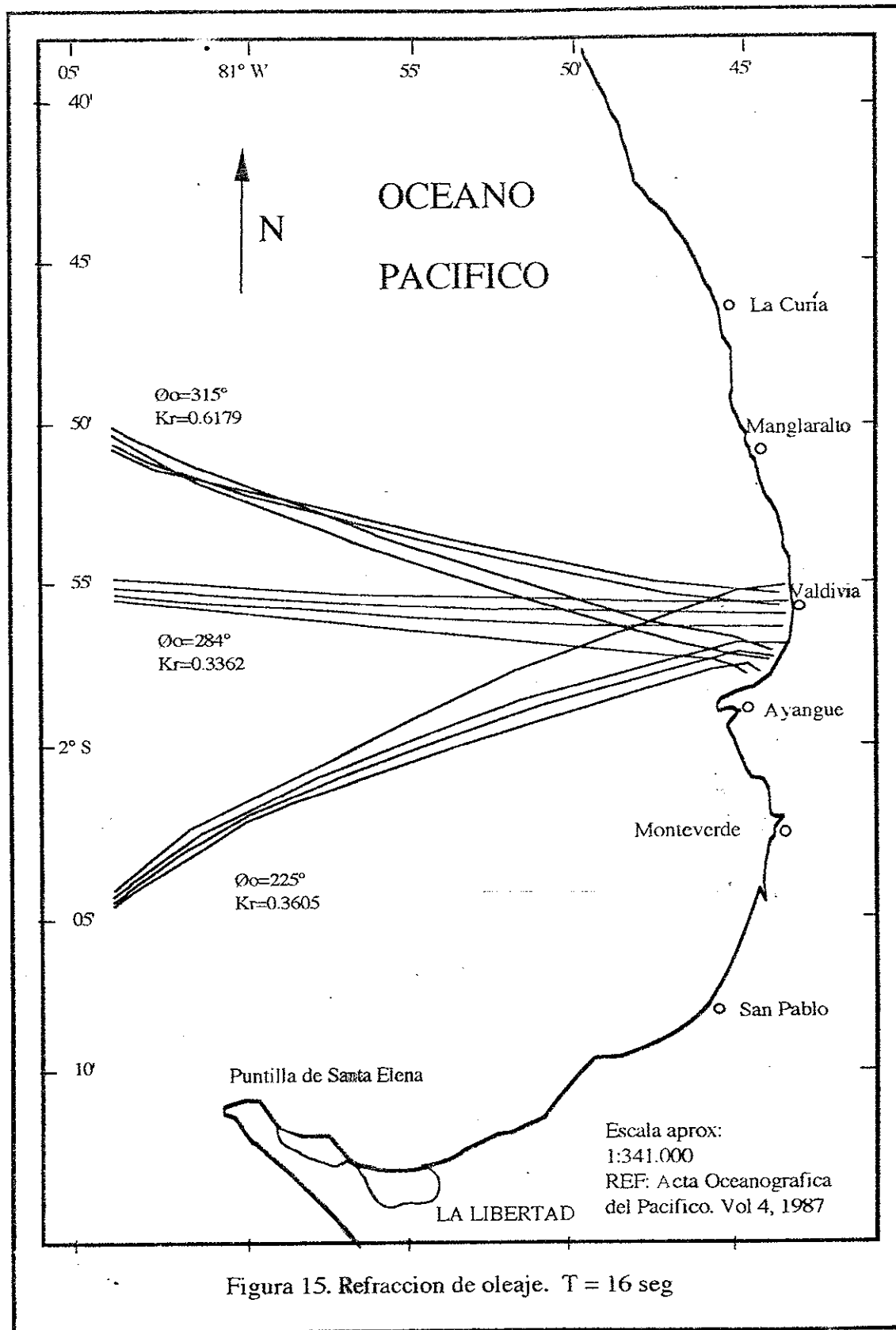
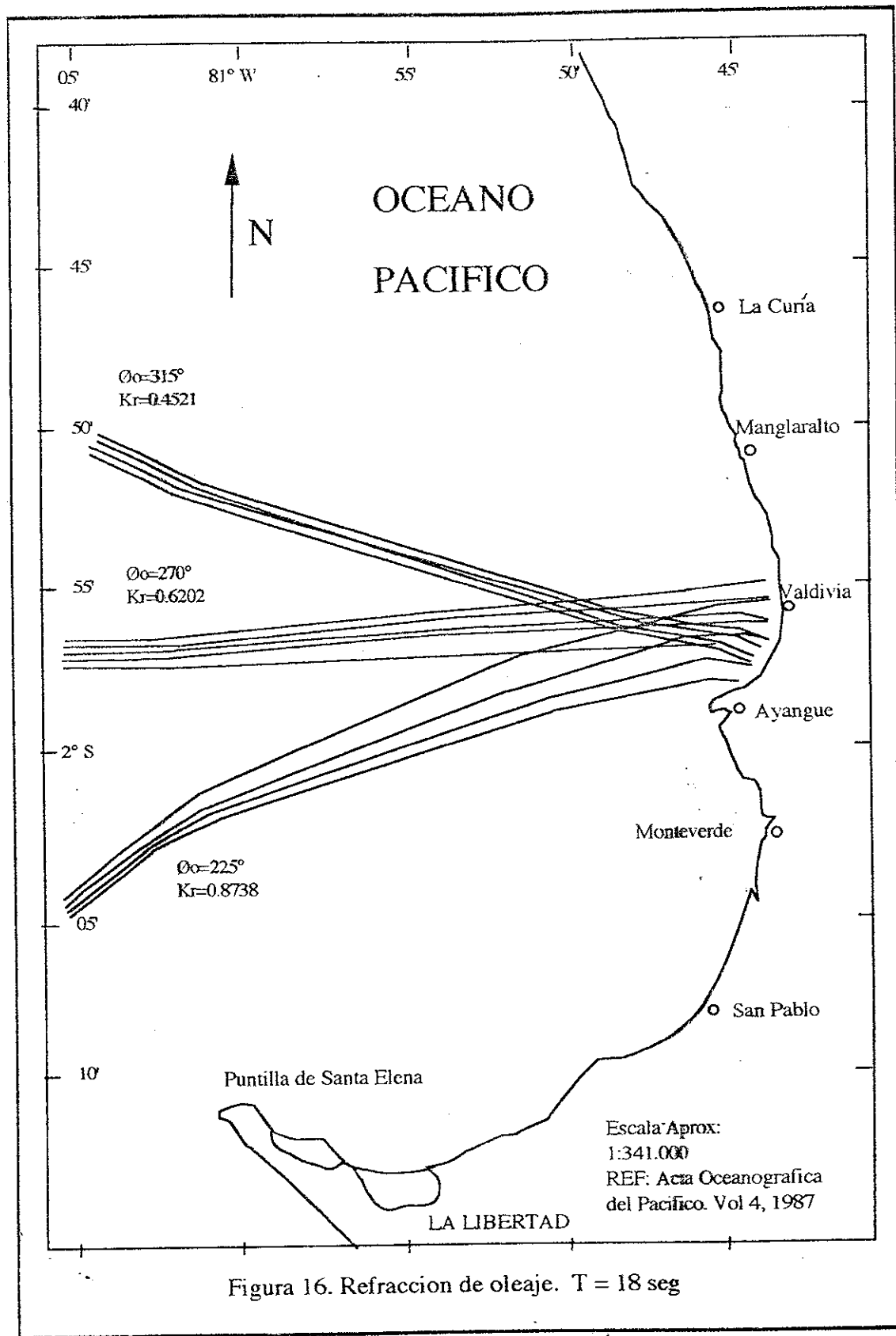


Figura 15. Refraccion de oleaje. T = 16 seg



olas provenientes de aguas con períodos de 14, 16 y 18 seg disminuye al acercarse a la costa y a su vez su altura, como indican los coeficientes de refracción menores que 1.

Por la conformación de su perfil costero y la ubicación sur de la Punta San Antonio con respecto a la bahía de interés, el oleaje proveniente del NO debería incidir con mayor fuerza, sin embargo los coeficientes son menores a los de las otras direcciones. Esto podría ser ocasionado por la presencia del Bajo de Montañita que podría tener 2 influencias: uno sería el de actuar como un obstáculo que amortigua el oleaje que sobre él pasa, o, que el método gráfico utilizado en la elaboración de los diagramas de refracción, pierde confiabilidad al aplicarlo sobre batimetrías muy irregulares.

### 3.2.2.3 Predicción de olas

El método estadístico más aplicable para la predicción de olas en Valdivia es el de Weibull (Allauca, 1985). Los valores de altura significativa de olas para diferentes intervalos de recurrencia aplicando este método son:

Años	Hs (m)
1	1.26
10	1.33
25	1.36
100	1.39

Estas estimaciones corresponden a olas en agua de 11.5 m de profundidad.

### 3.2.2.4 Olas rompientes

En este estudio se analizaron los datos de olas tomados en la rompiente a intervalos de una hora, mediante observaciones visuales. Dichas observaciones registran la altura significativa ( $H_{1/3}$ ). Los resultados obtenidos son:

De un total de 519 datos tomados en los días 3, 4, 5, 6 y 7 de abril de 1988, representativos de la época húmeda, se encontró un valor

promedio de altura de rompiente (Hb) de 0.60 m. La máxima Hb fue de 1.0 m.

Para la estación seca, en los días 21 y 26 de agosto se tomaron un total de 322 datos. De ellos se obtuvo un valor medio de Hb de 0.80 m. La máxima altura de rompiente fue de 1.50 m.

En las figuras 17 y 18 se muestran respectivamente las distribuciones de alturas significativas y períodos medios, indicados por porcentajes de ocurrencia. Las mayores frecuencias de ocurrencia de las alturas de olas rompientes fluctuaron entre 0.30 y 0.50 m, correspondientes al 44.32 % del total, en la estación húmeda; y entre 0.30 y 0.60 m. en la estación seca, correspondientes al 47.9 % del total.

Para la estación húmeda los períodos comprendidos entre 15 y 20 seg resultaron predominantes, ellos representan el 44.3 % del total. El período medio resultante fue de 16.4 seg. Para la estación seca, con una representación del 54.54% del total predominaron los períodos comprendidos entre 12 y 14 seg. El período medio resultante fue de 14.3 seg.

Estos resultados son muy semejantes a los encontrados por Allauca en la época seca, dando así una aplicabilidad confiable al método de observaciones visuales en la rompiente con fines de estudios someros de oleaje; sin embargo, se reconoce que este método tiene un cierto grado de imprecisión debido a la estimación visual para discernir las olas.

En cuanto a la diferencia en los valores típicos de las alturas de las olas rompientes entre las dos épocas los datos obtenidos en el estudio tienden a indicar una predominancia de olas altas en la época seca. Esto se debe a una coincidencia de factores que para los días de las mediciones determinó tal diferencia, pero que para los usuarios de las playas del sector, como es el caso del autor de esta tesis, es conocido que: a) las marejadas del norte que se presentan en la época húmeda producen una significativa ocurrencia de olas altas, principalmente debido a la incidencia directa que tienen sobre el área de estudio, aunque los vientos

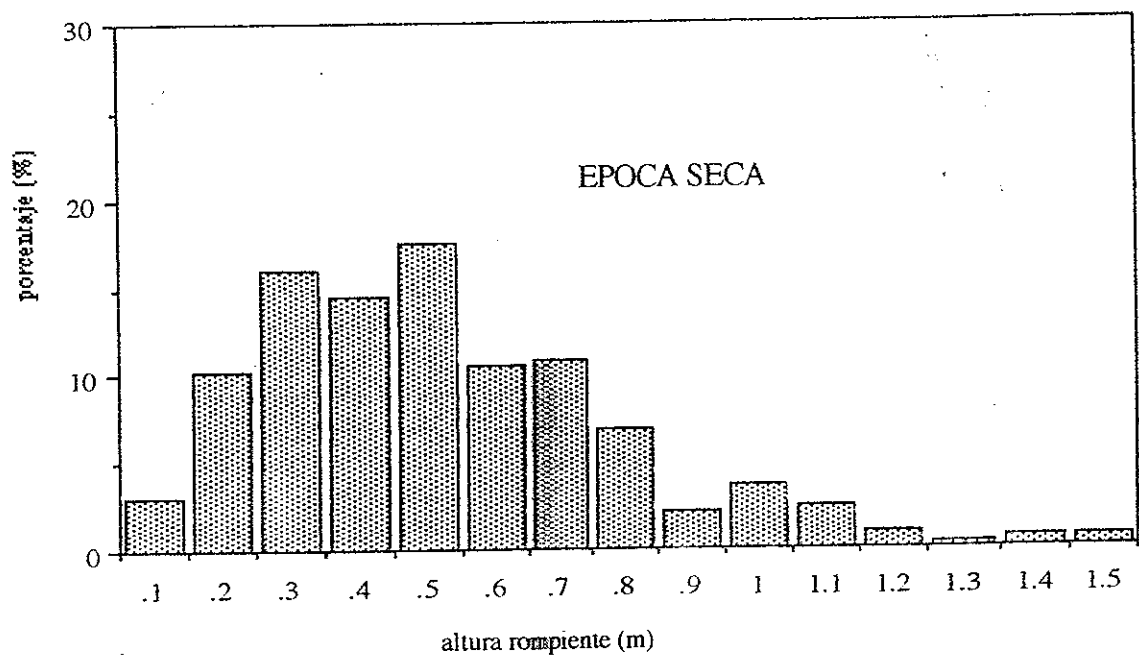
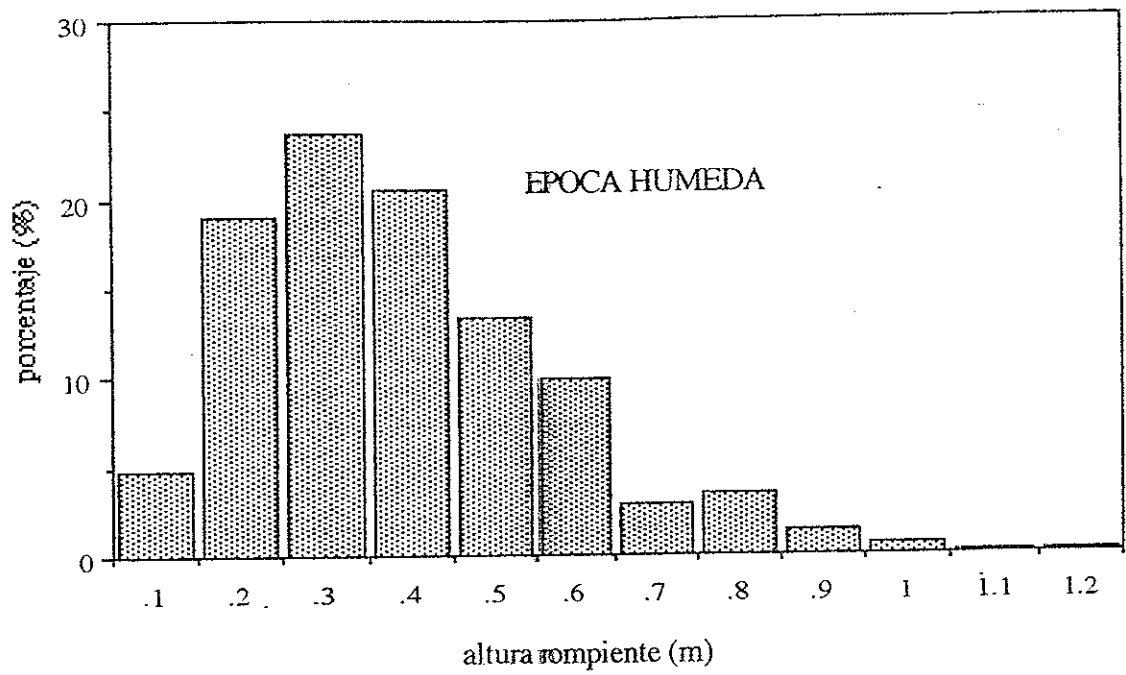


Figura 17. Porcentajes de ocurrencia de las alturas de olas rompientes en las épocas húmeda y seca.

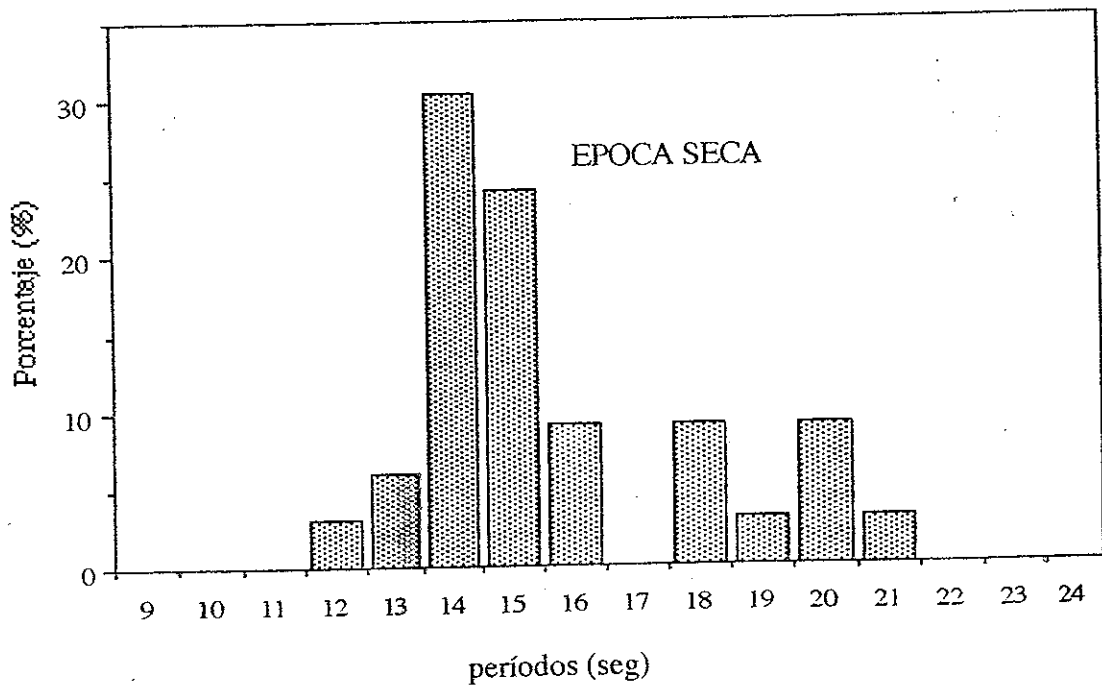
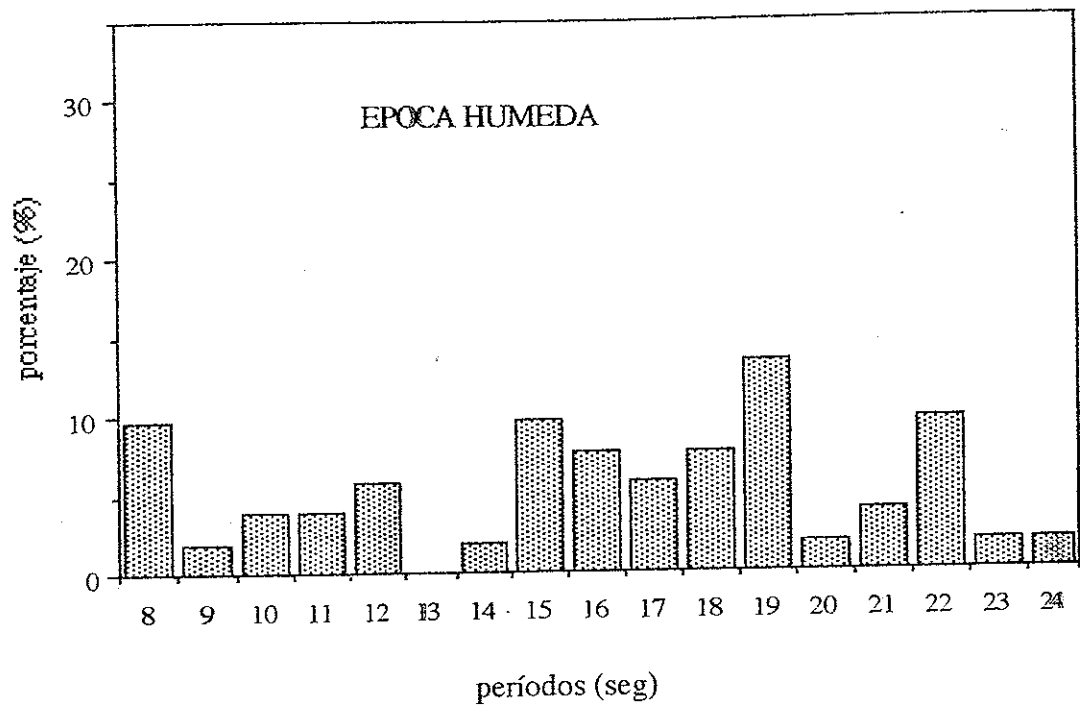


Figura 18. Porcentajes de ocurrencia de los períodos medios en las épocas húmeda y seca.

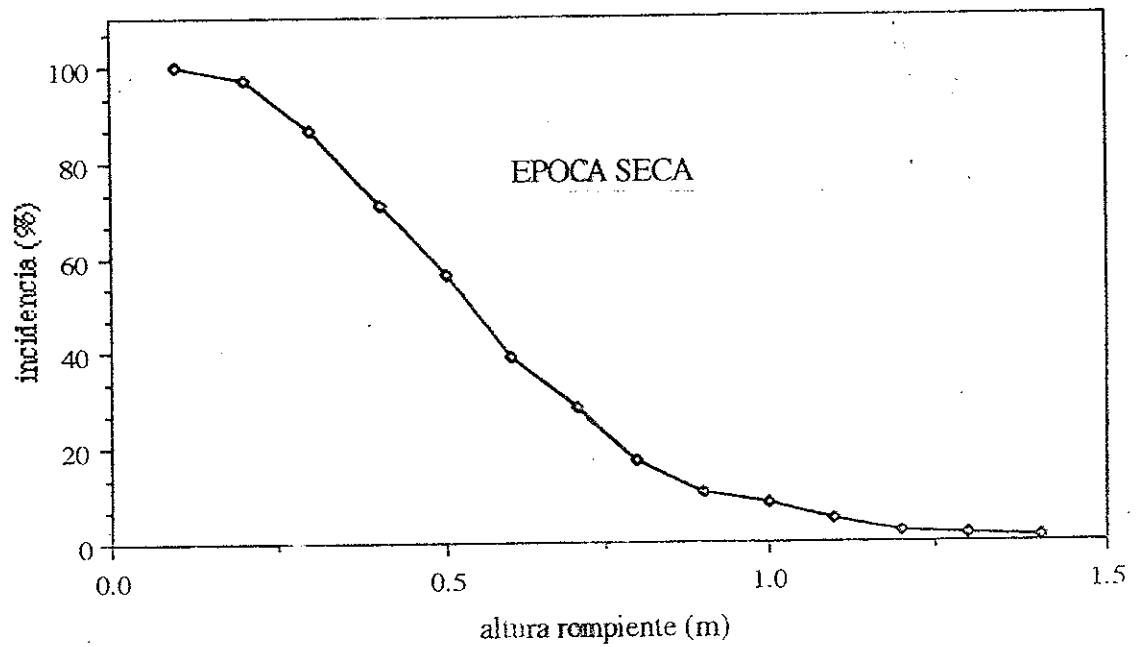
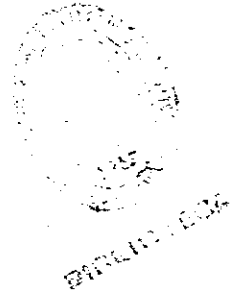
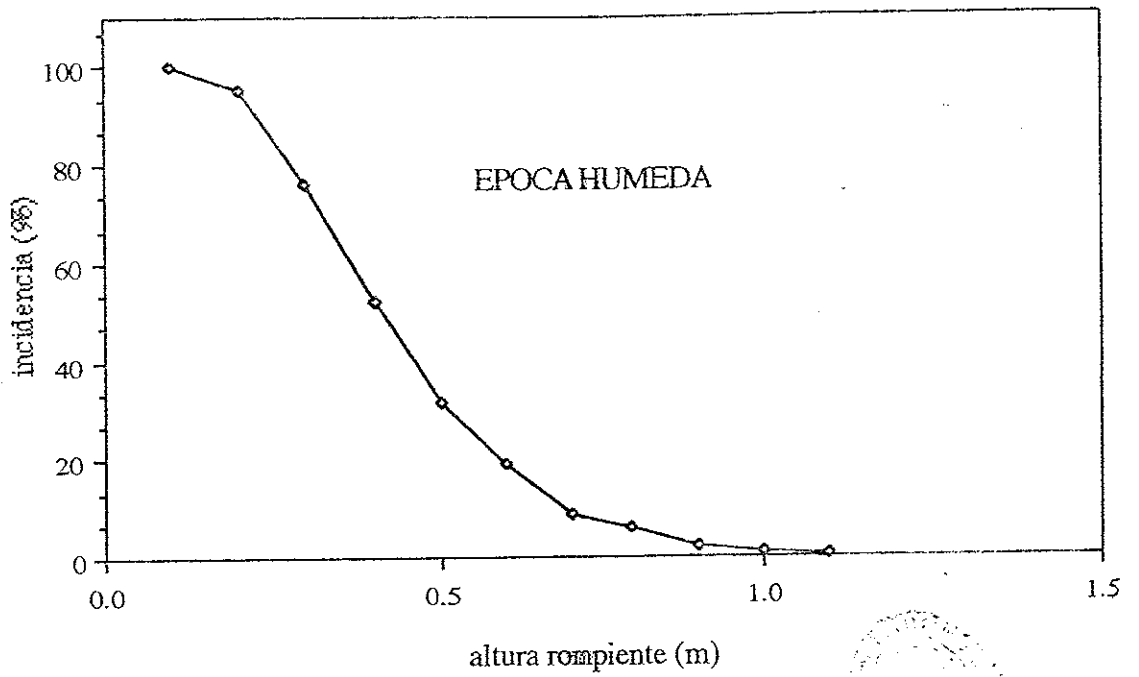


Figura 19. Distribución acumulativa de alturas rompiente en las épocas húmeda y seca

disminuyen en magnitud con respecto a la época seca; y, b) el oleaje de mar de leva del SO, así como los fuertes vientos provenientes de similar dirección durante la época seca determina un grado de oleaje persistente en el área de estudio.

Según la figura 19 de distribución acumulativa de alturas rompientes, el 50 % de las olas sobrepasan los 0.40 m en la época húmeda y 0.50 m en la época seca.

El fenómeno de El Niño 82-83, ha sido quizás el más fuerte registrado en los últimos 50 años. En él se produjo un gran incremento de las alturas de olas y por lo tanto de la energía. En Monteverde, en los primeros meses de 1983 la altura media mensual fue superior a 0.80 m (Allauca y Cardin). Dado que San Pedro y Monteverde reciben el mismo tipo de oleaje es posible que en esta época las condiciones hayan sido semejantes.

#### 3.2.2.5 Tipos de rompientes

La mayoría de las olas rompientes observadas en la playa de San Pedro fueron del tipo tumbada (volteo) y fueron apreciables sobre todo en oleajes fuertes. Un menor porcentaje de ellas, corresponde al tipo de rompiente rociada (derrame), las que revientan más cerca de la línea de playa.

Si se considera una altura promedio de rompientes de 0.60 m y un período de 16 s, el tipo de rompientes prevalecientes, de acuerdo al criterio de Galvin (1968) indicado por la relación  $(Hb/gmT^2)$  sería:

surgientes (surging)	volteo (plunging)	derrame (spilling)
$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-1}$

donde :  $Hb$  = altura de rompiente = 0.60 m.

$T$  = 16 seg

$m$  = pendiente de playa = 0.041 (Zambrano, 1982)



$g$  = gravedad

El valor de  $(H_b/gmT^2)$  de  $5.8 \times 10^{-3}$  ubica a la rompiente encontrada dentro del rango de las rompientes de volteo, concordando con la mayoría de las observaciones visuales.

La profundidad de rompiente  $h_b$  puede ser determinada a partir de la altura de rompiente  $H_b$  observada, mediante el índice de rompientes  $\Upsilon_b$ , en que:

$$\Upsilon_b = H_b/h_b$$

Estudios de laboratorio han demostrado que el valor del índice de rompiente varía en función de la pendiente de la playa y de la ola en aguas profundas ( $H_o/L_o$ ), con rangos entre 0.5-0.8 y 0.8-1.1, correspondientes respectivamente a rompientes rociadas y tumbadas.

No obstante, se puede considerar un valor medio de índice de rompiente de 0.8 (Komar, 1978). Entonces la profundidad media de rompiente en la playa de San Pedro sería de 0.75 m para la altura de rompientes de 0.60 m.

En cuanto a las mediciones de ancho de rompiente y de la distancia línea de playa-flotador, los promedios encontrados son:

época	ancho rompiente	línea de playa-flotador
Húmeda	40 m	37 m
Seca	46 m	42 m

Del análisis de las fotografías aéreas del sector de San Pedro se observa que para ambas épocas las olas arriban a la costa con un ángulo de aproximadamente 10 grados relativo a la línea de playa.

### 3.2.3 Corrientes

#### 3.2.3.1 Corrientes costeras

Las primeras mediciones de corrientes en la zona de San Pedro las realizó R. Paredes durante los meses de julio y noviembre de 1981, sus principales observaciones fueron:

- Un gran porcentaje de las corrientes generadas por efecto del viento (90%), tiene un flujo permanente hacia la costa, el 10% restante obedece a los efectos de la marea.
- El veril de 5 metros del fondo marino delimita las aceleración de las velocidades de las corrientes costeras: las velocidades hacia la costa y hasta el veril de 5 m son decrecientes, y crecientes a partir de él.
- La velocidad de corriente máxima observada fue de 0.61 nudos durante la fase de sicigia del mes de julio, y la mínima de 0.018 nudos.
- La velocidad media registrada fue de 0.22 nudos con dirección 131 grados magnéticos.
- Anotó además que cuando el flujo se dirige hacia la costa la velocidad de las corrientes superficiales es mayor que la de las subsuperficiales, y ocurre lo contrario si el flujo se dirige hacia mar adentro.

En el presente estudio se midieron corrientes superficiales y subsuperficiales mediante el seguimiento de flotadores. Dichas mediciones se efectuaron los días 1 y 9 de abril/88 para la época húmeda y 21 y 26 de agosto/88 para la época seca.

En las mediciones de la época húmeda se observa que, durante el flujo, la dirección de las corrientes superficiales y subsuperficiales, lejos de la rompiente, es sureste (SE), y cambiando de dirección hacia el noreste (NE) al acercarse a la costa (figura 20a). Durante el reflujo, la dirección predominante dentro y fuera de la rompiente es hacia el NE, siendo más

paralela a la línea de costa dentro de ella (figura 20b).

En la época seca, para las corrientes superficiales se observó una dirección predominante hacia el NE, independiente del estado de la marea (figura 21a).

El día 26 de agosto, durante la bajamar, las veletas profundas se dirigían hacia el noroeste (NO); al comenzar el flujo, ellas giraron en sentido antihorario para luego orientarse siguiendo el patrón general de circulación de la zona, es decir, hacia el SE (figura 21b). Este tipo de movimiento puede explicarse por los efectos de la marea.

Durante los días de mediciones, la velocidad del viento observada fue aumentando en el transcurso del día; la velocidad del flujo en la capa superficial del mar aumentó en mayor proporción con respecto a la capa subsuperficial. Este comportamiento permite confirmar que el efecto del viento es mayor en la superficie del agua y disminuye con profundidad.

De la revisión de las velocidades de las veletas se deduce que, a medida que la marea se aproxima a las estoas de pleamar y bajamar, las velocidades superficiales y subsuperficiales son mayores y tienden a igualarse entre sí.

Los valores promedios de las velocidades de las corrientes medidas con veletas son:

fecha	corriente superficial		corriente subsuperficial	
	magnitud	dirección	magnitud	dirección
abr 1/88	0.125 m/s	NE	0.058 m/s	SE
abr 9/88	0.148 m/s	NE	0.085 m/s	SE
ago 21/88	0.090 m/s	NE	0.051 m/s	NE
ago 26/88	0.074 m/s	NE	0.038 m/s	NE

En las dos épocas, las velocidades de las corrientes en la capa superficial son mayores en alrededor del 30 % que en la capa subsuperficial.

Del cuadro anterior se obtienen las siguientes velocidades medias:

fecha	corriente superficial		corriente subsuperficial	
	magnitud	dirección	magnitud	dirección
húmeda	0.137 m/s	NE	0.072 m/s	SE
seca	0.082 m/s	NE	0.045 m/s	NE

Esto es, los promedios de las velocidades de la capa superficial y subsuperficial en la época húmeda son aproximadamente el doble que los de la época seca.

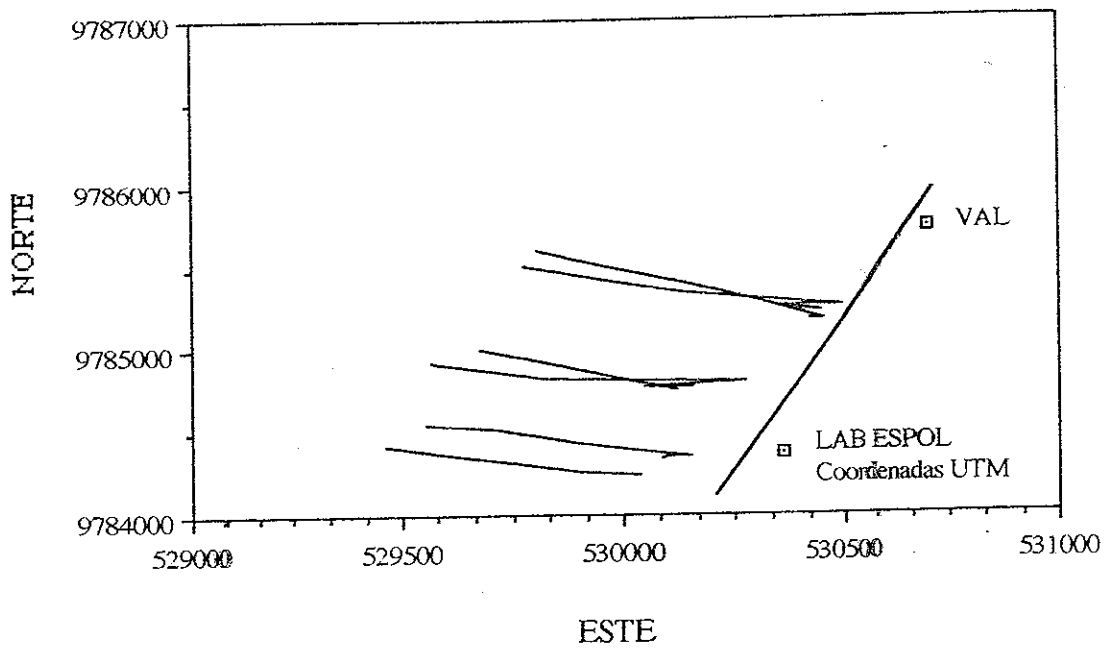
La máxima velocidad se registró en la estoa de bajamar del día 9 de abril, mientras la marea estaba en reflujó, durante una fase lunar de cuarto menguante, con un valor de 0.22 m/s en dirección NE.

De las observaciones realizadas por Paredes y del análisis de la trayectoria de las veletas hecho en este estudio se comprueba la influencia de corrientes de marea en el área, sin descartar la presencia de otros agentes que aportan en la circulación del agua.

Un reciente análisis de las características químicas de la zona de San Pedro realizado por P. Villalba (1989) (27) indicó que en los primeros días de febrero de 1989 hubo una intrusión de aguas ricas en nutrientes y bajas temperaturas por el fondo, que avanzó aproximadamente hasta el veril de los 5 m, las mismas que tendrían su origen en zonas oceánicas más profundas.

Es posible afirmar que las corrientes costeras son el resultado de la suma de corrientes generadas por el viento, por la marea y por otras causas oceánicas. Sin embargo, resultó poco exacto cuantificar el porcentaje de influencia de cada uno de estos factores en el flujo general existente en el área.

VELETAS SUPERFICIALES. ABRIL 1-88



VELETAS PROFUNDAS. ABRIL 1-88

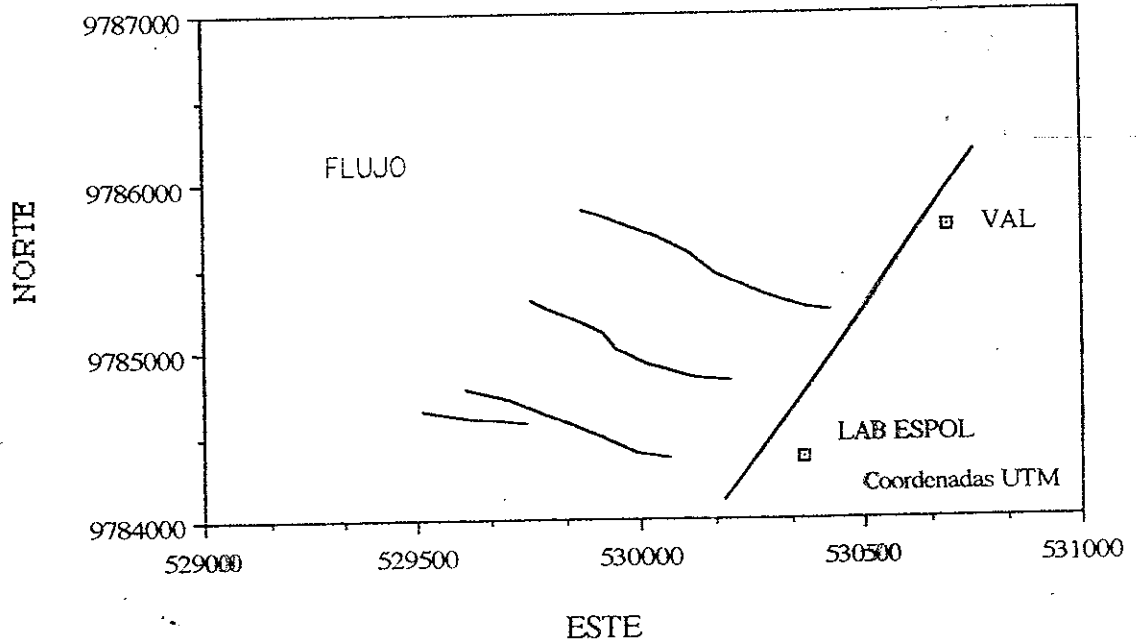
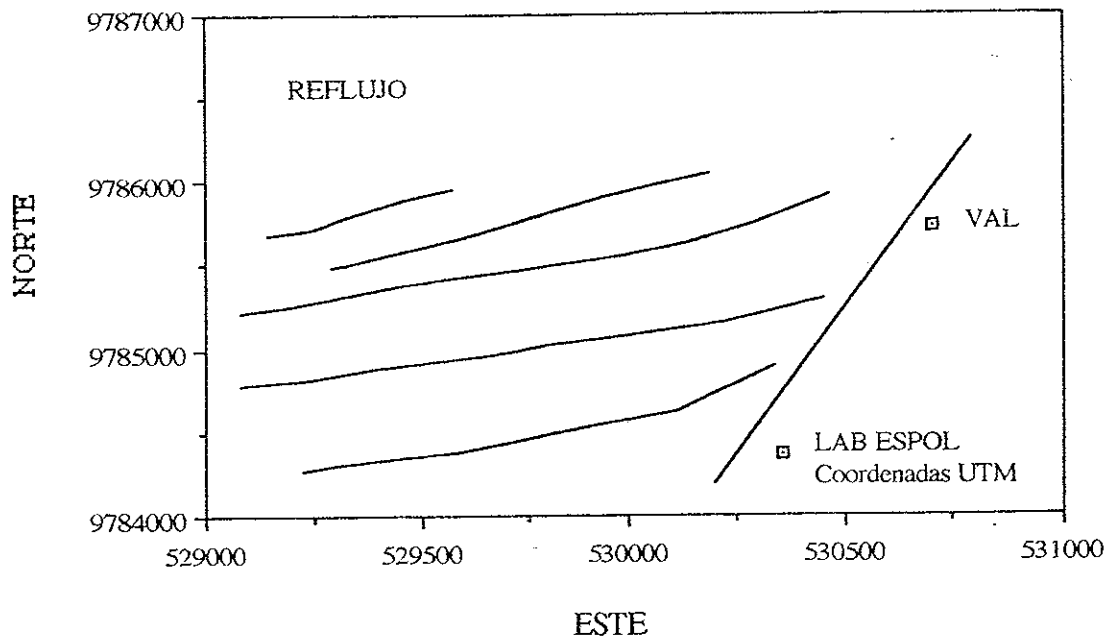


Figura 20a. Trayectoria de las veletas en la época húmeda

VELETAS SUPERFICIALES. ABRIL 9-88



VELETAS PROFUNDAS. ABRIL 9-88

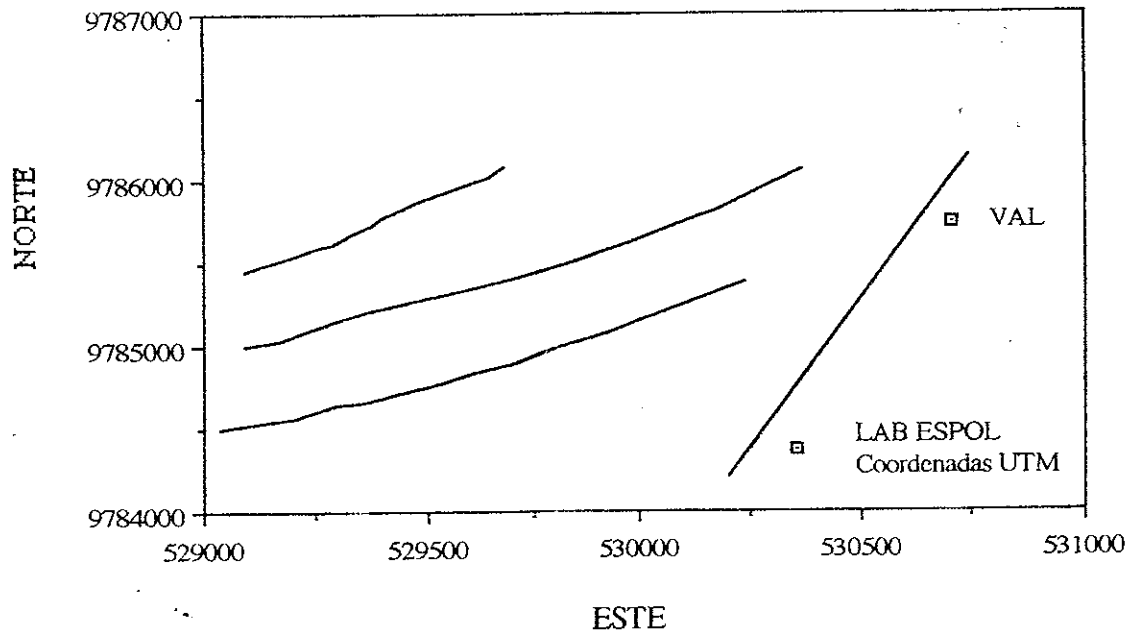
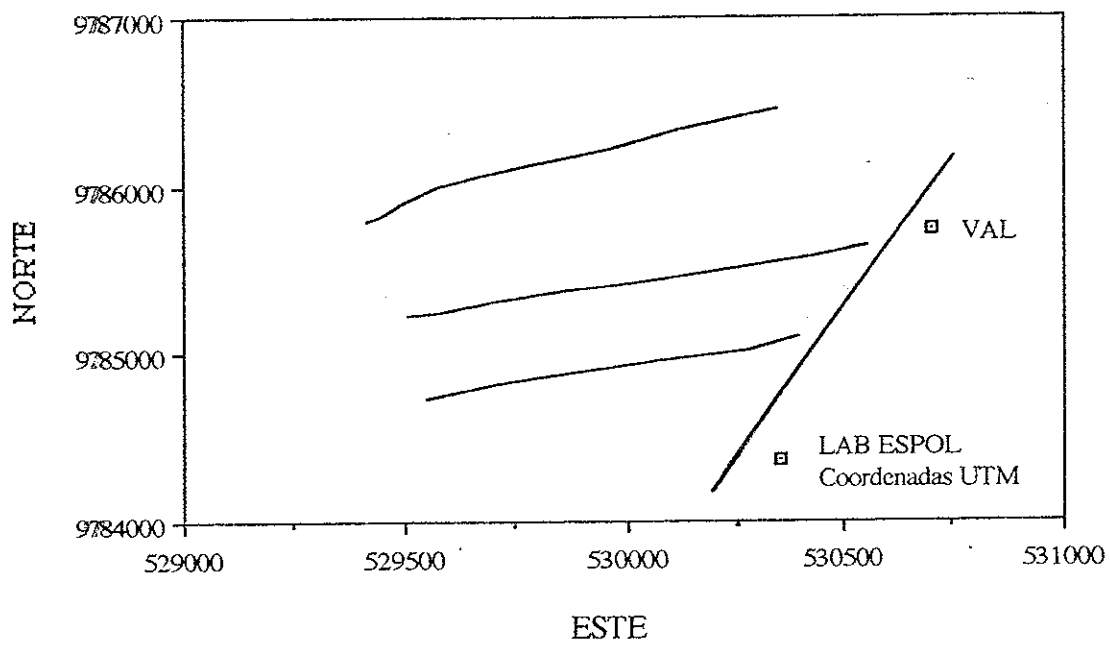


Figura 20b. Trayectoria de las veletas en la época húmeda

VELETAS SUPERFICIALES. AGOSTO 21-88



VELETAS PROFUNDAS. AGOSTO 21-88

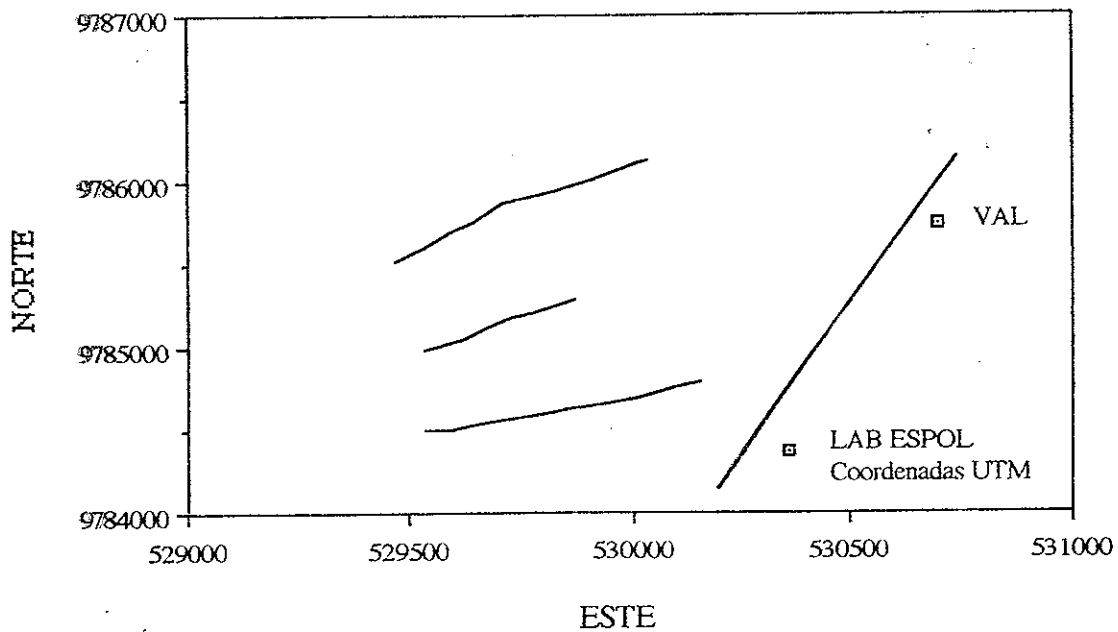
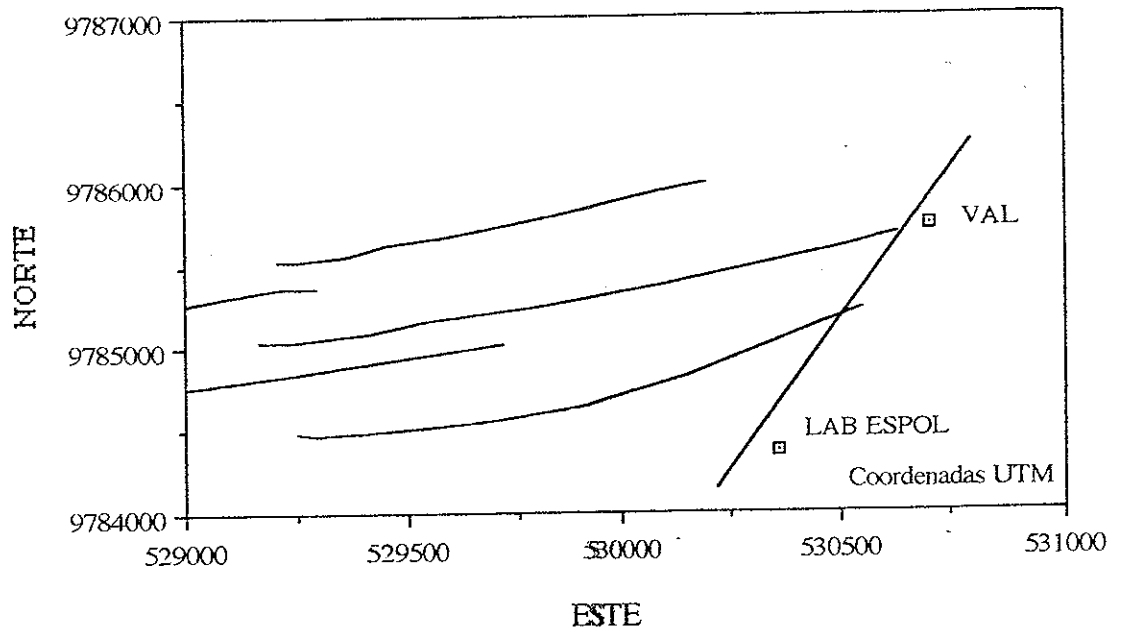


Figura 21a. Trayectoria de las veletas en la época seca.

VELETAS SUPERFICIALES. AGOSTO 26-88



VELETAS PROFUNDAS. AGOSTO 26-88

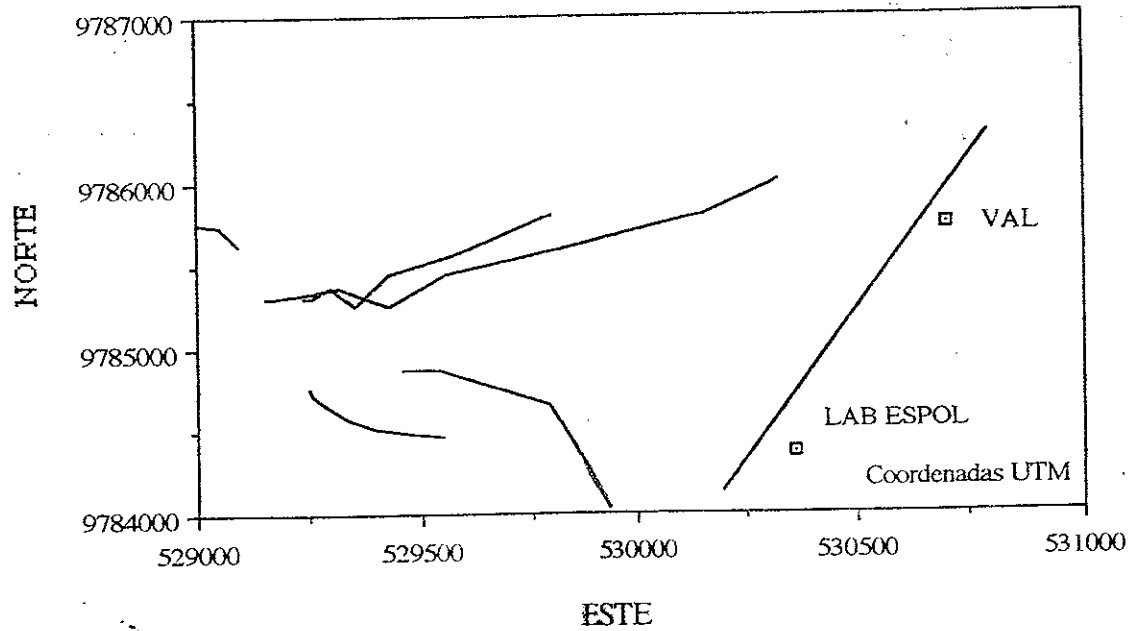


Figura 21b. Trayectoria de las veletas en la época seca.



### 3.2.3.2 Corrientes litorales

Los valores de los parámetros medidos visualmente en la rompiente se observan en las tablas VI y VII, los valores positivos de la corriente litoral corresponden a flujos hacia el norte (hacia la derecha mirando hacia el mar) y los negativos hacia el sur.

De las mediciones realizadas de corriente litoral en las estaciones de Valdivia y San Pedro para las dos épocas se obtuvieron los siguientes promedios:

Epoca	Dirección Norte	Dirección Sur
Húmeda	0.14 m/s	0.05 m/s
Seca	0.18 m/s	0.12 m/s

En la época húmeda, el 85 % de las velocidades tuvieron dirección norte y en la época seca el 80 %, lo que confirma el hecho de que en épocas normales, la mayor parte del año la deriva litoral en San Pedro tiene una dirección predominante hacia el norte.

Estos datos promedios serán posteriormente utilizados en el cálculo del transporte litoral.

TABLA VI. OBSERVACIONES VISUALES EPOCA HUMEDA

FECHA	HORA LOCAL	Hb (cm)	PERIODO (s)	ancho surf (m)	dist. flot (m)	deriva (m/s)
9-Apr	10h30	0.4	15.5	50	50	-0.18
	11h30	0.2	8.5	40	40	-0.01
	12h30	0.4	7.0	40	40	+0.17
	13h30	0.3	12.5	50	50	+0.25
	14h30	0.4	11.5	40	40	+0.19
3-May	15h30	0.2	8.0	50	50	+0.19
	08h30	0.6	10.5	50	50	+0.22
	09h30	0.6	9.0	60	60	+0.22
	10h30	0.8	11.0	40	40	+0.14
	11h30	0.6	10.5	60	60	+0.19
	12h30	0.7	8.5	70	70	+0.20
	13h30	0.5	6.5	50	50	-0.01
	14h30	0.6	8.5	40	40	+0.25
4-May	15h30	0.6	8.0	40	40	+0.35
	09h00	0.5	25.5	40	40	+0.23
	10h00	0.3	17.3	40	30	+0.18
	11h00	0.4	17.7	30	30	+0.27
	12h00	0.4	18.0	30	30	+0.07
	13h00	0.3	18.0	30	30	+0.07
	14h00	0.3	16.3	40	40	+0.04
	15h00	0.4	15.7	40	30	+0.04
	16h00	0.2	16.5	40	40	+0.06
	17h00	0.3	12.5	40	30	+0.28
	17h30	0.5	22.0	30	30	-0.08
5-May	18h00	0.5	16.0	35	35	+0.13
	08h00	0.4	23.5	35	35	+0.10
	09h00	0.4	32.0	40	40	+0.05
	10h00	0.4	15.0	40	40	+0.03
	11h00	0.3	24.3	40	40	+0.04
	12h00	0.3	19.1	30	25	+0.12
	13h00	0.3	22.5	30	30	+0.16
	14h00	0.3	21.0	30	25	+0.07
	15h00	0.4	15.9	40	40	+0.33
	16h00	0.3	19.5	40	30	-0.03
6-May	17h00	0.6	19.2	40	30	+0.10
	17h38	0.5	22.9	30	25	+0.11
	09h00	0.4	17.0	40	30	+0.02
	10h00	0.2	16.0	40	35	+0.01
	11h00	0.4	19.0	40	35	+0.15
	12h00	0.3	18.0	30	30	-0.01
	13h00	0.2	18.0	30	30	+0.15
	14h00	0.4	14.5	30	30	+0.01
	15h00	0.3	12.9	30	25	+0.02
	16h00	0.3	15.6	40	30	+0.01
7-May	18h00	0.4	19.0	50	45	+0.10
	08h00	0.5	27.5	40	30	+0.11
	09h00	0.5	22.8	50	40	+0.04
	10h00	0.3	22.1	40	35	+0.32
	11h00	0.3	20.0	40	35	+0.07
	12h00	0.5	19.0	40	35	+0.04
	13h00	0.2	19.2	40	30	--

7

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

297

298

299

300

301

302

303

304

305

306

307

308

309

310

311

312

313

314

315

316

317

318

319

320

321

322

323

324

325

326

327

328

329

330

331

332

333

334

335

336

337

338

339

340

341

342

343

344

345

346

347

348

349

350

351

352

353

354

355

356

357

358

359

360

361

362

363

364

365

366

367

368

369

370

371

372

373

374

375

376

377

378

379

380

381

382

383

384

385

386

387

388

389

390

391

392

393

394

395

396

397

398

399

400

401

402

403

404

405

406

407

408

409

410

411

412

413

414

415

416

417

418

419

420

421

422

423

424

425

426

427

428

429

430

431

432

433

434

435

436

437

438

439

440

441

442

443

444

445

446

447

448

449

450

451

452

453

454

455

456

457

458

459

460

461

462

463

464

465

466

467

468

469

470

471

472

473

474

475

476

477

478

479

480

481

482

483

484

485

486

487

488

489

490

491

492

493

494

495

496

497

498

499

500

501

502

503

504

505

506

507

508

509

510

511

512

513

514

515

516

517

518

519

520

521

522

523

524

525

526

527

528

529

530

531

532

533

534

535

536

537

538

539

540

541

542

543

544

545

546

547

548

549

550

551

552

553

554

555

556

557

558

559

560

561

562

563

564

565

566

567

568

569

570

571

572

573

574

575

576

577

578

579

580

581

582

583

584

585

586

587

588

589

590

591

592

593

594

595

596

597

598

599

600

601

602

603

604

605

606

607

608

609

610

611

612

613

614

615

616

617

618

619

620

621

622

623

624

625

626

627

628

629

630

631

632

633

634

635

636

637

638

639

640

641

642

643

644

645

646

647

648

649

650

651

652

653

654

655

656

657

658

659

660

661

662

663

664

665

666

667

668

669

670

671

672

673

674

675

676

677

678

679

680

681

682

683

684

685

686

687

688

689

690

691

692

693

694

695

696

697

698

699

700

701

702

703

704

705

706

707

708

709

710

711

712

713

714

715

716

717

718

719

720

721

722

723

724

725

726

727

728

729

730

731

732

733

734

735

736

737

738

739

740

741

742

743

744

745

746

747

748

749

750

751

752

753

754

755

756

757

758

759

760

761

762

763

764

765

766

767

768

769

770

771

772

773

774

775

776

777

778

779

780

781

782

783

784

785

786

787

788

789

790

791

792

793

794

795

796

797

798

799

800

801

802

803

804

805

806

807

808

809

810

811

812

813

814

815

816

817

818

819

820

821

822

823

824

825

826

827

828

829

830

831

832

833

834

835

836

837

838

839

840

841

842

843

844

845

846

847

848

849

850

851

852

853

854

855

856

857

858

859

860

861

862

863

864

865

866

867

868

869

870

871

872

873

874

875

876

877

878

879

880

881

882

883

884

885

886

887

888

889

890

891

892

893

894

895

896

897

898

899

900

901

902

903

904

905

906

907

908

909

910

911

912

913

914

915

916

917

918

919

920

921

922

923

924

925

926

927

928

929

930

931

932

933

934

935

936

937

938

939

940

941

942

943

944

945

946

947

948

949

950

951

952

953

954

955

956

957

958

959

960

961

962

963

964

965

966

967

968

969

970

971

972

973

974

975

976

977

978

979

980

981

982

983

984

985

986

987

988

989

990

991

992

993

994

995

996

997

998

999

1000

TABLA VII. OBSERVACIONES VISUALES EPOCA SECA							
FECHA	HORA	Hb (m)	PERIODO (s)	ancho surf (m)	dist. flot. (m)	deriva (m/s)	
21-Aug (San Pedro)	10h00	0.50	12.8	70	70	+0.14	
	11h00	0.40	12.7	70	70	-0.11	
	12h00	0.30	13.2	60	60	-	
	13h00	0.40	12.7	50	50	+0.2	
	14h00	0.40	12.6	40	40	+0.4	
	15h00	0.40	13.5	30	30	+0.3	
	(Valdivia)	09H30	0.70	13.5	35	20	-0.05
		10H30	0.70	16.0	30	30	+0.03
		11H00	0.40	14.3	30	30	+0.07
		12H00	0.50	18.3	50	50	+0.11
		13H00	0.50	16.6	60	50	-0.03
		14H00	0.60	23.0	60	55	+0.06
		15H00	0.20	13.5	60	55	-0.29
		26-Aug (San Pedro)	09h00	0.60	13.5	65	60
	10h00		0.60	12.0	60	60	+0.16
11h00	0.70		11.6	50	50	+0.04	
12h00	0.80		14.4	45	40	+0.16	
13h00	1.00		14.4	30	25	+0.20	
14h00	0.80		13.0	60	30	+0.09	
15h00	0.70		10.7	20	20	+0.22	
16h00	0.80		13.9	40	40	+0.27	
17h00	1.00		12.8	30	25	+0.15	
18h00	0.80		11.9	15	15	-0.02	
(Valdivia)	09h00		0.40	12.4			-0.08
	10h00		0.40	18.0			+0.07
	11h00		0.30	17.1			+0.14
	12h00		0.20	13.3			+0.06
	13h00		0.40	12.0			+0.25
	14h00	0.40	16.4			+0.26	
	15h00	0.30	18.0			+0.15	
	16h00	0.30	19.0			+0.65	
	17h00	0.30	12.0			+0.17	
	18h00	0.30	12.0			+0.2	

### 3.3 METEOROLOGIA

#### 3.3.1 Vientos

Se efectuó una comparación entre el patrón de vientos registrados en la estación de Salinas y los datos medidos en San Pedro.

Las condiciones para el período mayo 3-junio 8/88 determinan una dirección predominante de vientos provenientes del suroeste y oeste; y, vientos más débiles del norte (figura 20)

En la comparación de patrones de vientos entre San Pedro y Salinas se observa cierta diferencia, esto se explica por la presencia de la Cordillera de Colonche, que modifica el patrón zonal de circulación.

Por esta razón, y debido a que tiene un registro mucho más largo, los datos de vientos de la estación de Salinas son más aplicables a este estudio, aunque se indica que las diferencias anotadas podrían deberse a efectos locales de los cerros circundantes al área de medición.

#### 3.3.2 Precipitación

La figura 23 nos muestra la variación anual normal de precipitación obtenida de un largo registro en Salinas. La época lluviosa está comprendida entre enero y abril, siendo marzo el mes de mayor precipitación; y entre mayo y diciembre, correspondiente a la época seca, en que agosto y septiembre son los meses más secos.

Dada la vecindad de San Pedro a una zona montañosa, es posible que la precipitación en este sector supere levemente a la de Salinas. No obstante, 1988 constituyó un año de bajas precipitaciones.

En los últimos años, las mayores precipitaciones se dieron durante la ocurrencia de El Niño 82-83, período que alcanzó un máximo de 730 mm en el mes de mayo y un total para el año 83 de 2740 mm (figura 23).

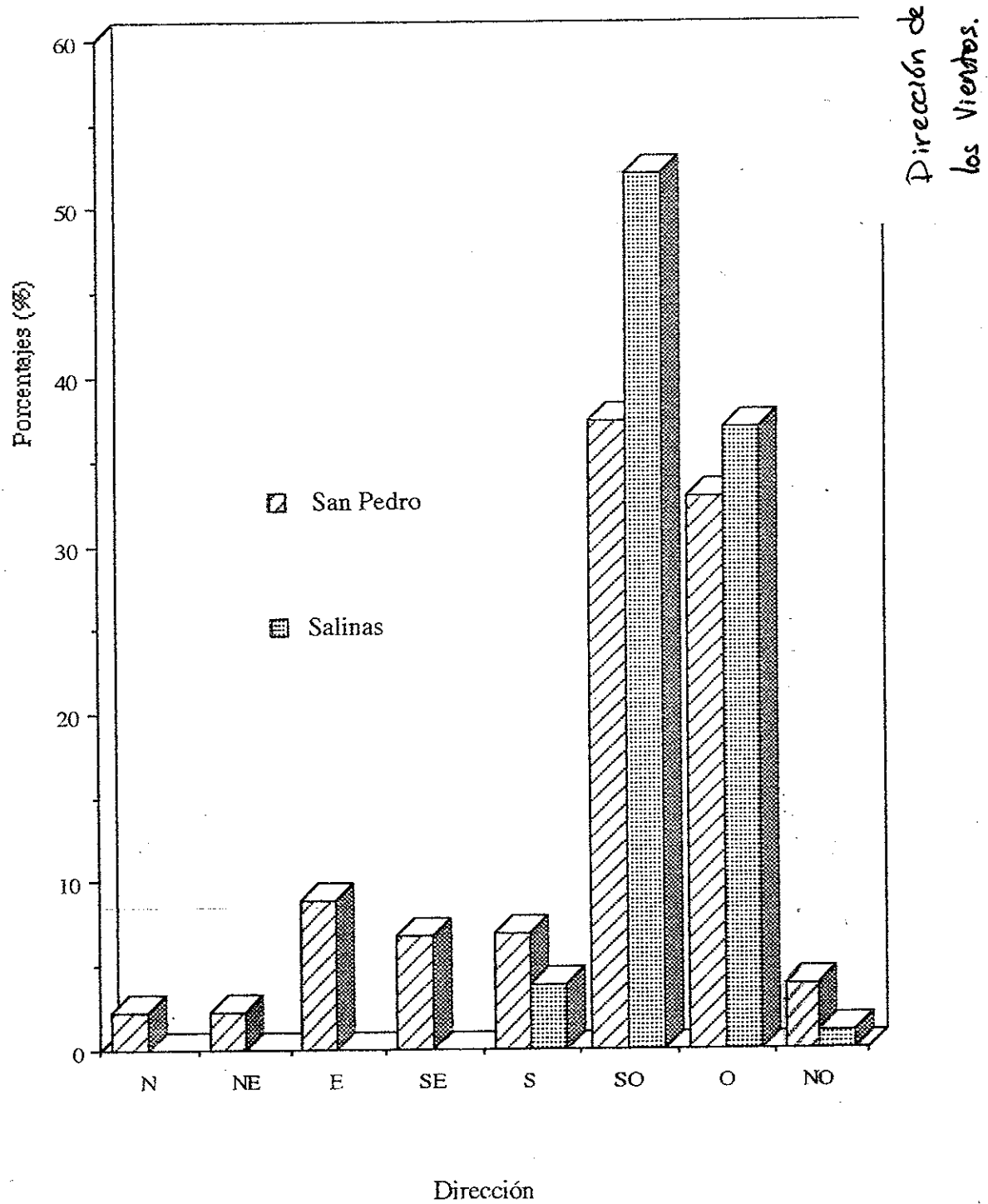


Figura 22. Porcentajes de ocurrencia de vientos en San Pedro y Salinas.

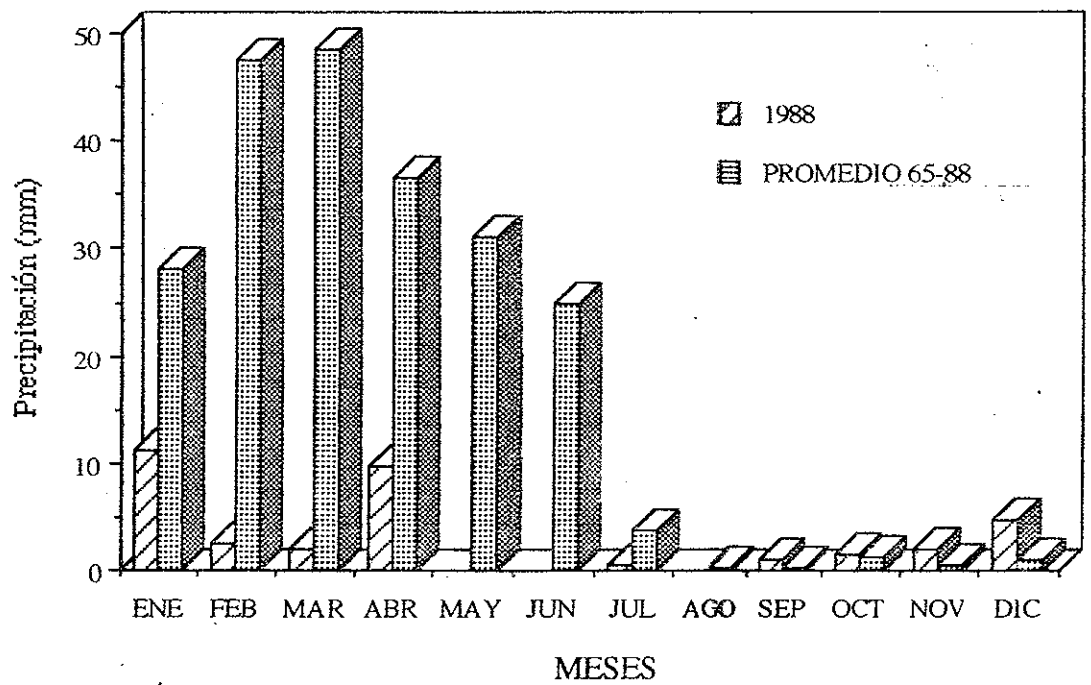
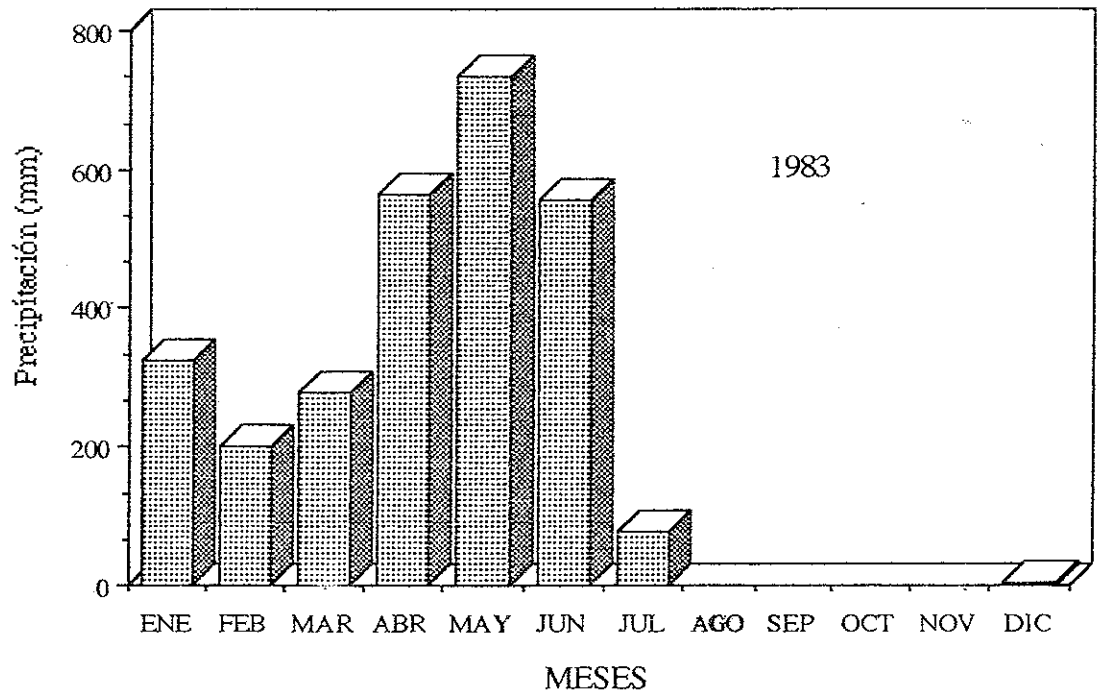


Figura 23. Precipitación en Salinas

## CAPITULO IV

### PROCESOS LITORALES

BIBLIOTECA

#### 4.1 ASPECTOS TEORICOS

##### 4.1.1 Procesos en la zona costera

Las secciones previas de este estudio presentan un carácter descriptivo de las características ambientales reinantes en el área de estudio.

En una playa se produce acreción, erosión o se mantiene en "equilibrio dinámico", dependiendo del balance entre el volumen del sedimento suministrado y el que es transportado por las corrientes. Equilibrio dinámico significa que la posición media de la línea de playa es relativamente estable en un período de meses o años, aunque la posición instantánea tenga oscilaciones cortas.

Para entender cómo son distribuidos y transportados los materiales de la playa, es necesario considerar los procesos que actúan en la zona litoral y dentro de la rompiente. El movimiento de los sedimentos responde continuamente a la acción de las olas, corrientes, mareas y en menor grado de vientos y a variaciones del nivel del mar.

Así, la interacción entre estos procesos y con los materiales de la playa, y el balance sedimentario producen las modificaciones del ambiente costero, determinando un perfil de playa representativo. Ya que los cambios y los procesos físicos de la zona costera son más dinámicos en la rompiente; este estudio da mayor énfasis al análisis de lo que ocurre en esta zona, sin dejar de considerar áreas adyacentes.

#### 4.1.2 Factores que influncian en la geometría de la playa.

Condiciones de alta energía de olas tienden a erosionar la berma, aumentando su pendiente: arena fina es trasladada fuera de la costa y depositada en la rompiente donde se forman barras paralelas a la costa, con el retorno de calmas la arena fina es lentamente movida hacia la costa para reconstruir la cara de la playa y extender la berma, y la barra tiende a desaparecer.

La pérdida del sedimento de la berma en altos oleajes permite que la ola ataque directamente las construcciones edificadas dentro de la zona activa donde ocurren los procesos litorales.

La formación de barras depende de una serie de factores relacionados con las características de las olas, pendiente y material de la playa. Con olas más altas la barra se mueve hacia mar adentro, y una nueva barra es formada más cerca de la playa. Las barras son relativamente menos comunes donde el rango de marea es grande.

En la mayoría de playas hay una respuesta estacional a los niveles de energía de olas (Komar, 1983).

Existe una correlación general entre la inclinación de la playa, tamaño de grano y exposición al ataque de olas. Para un clima dado de olas, mientras más gruesos o medianos diámetros de partículas de arena en la cara de la playa, más inclinada la playa.

Las mareas juegan un rol indirecto en el transporte de sedimentos y en los cambios morfológicos en la playa. Su importancia radica en la exposición alternante de la playa y en que cubre una gran porción de la misma. Altos rangos de marea pueden agrandar la zona de rompiente alterando la razón de transporte de sedimentos y la geometría de la playa.

La posición del nivel freático es un aspecto significativo en la sedimentación de la playa porque durante condiciones de nivel freático alto hay una tendencia a erosionar y durante nivel freático bajo es más común la acreción (Grant, 1948, Harrison et al, 1971, Waddel, 1976 (7)).



Las corrientes generadas por la marea transportan en la sección costa afuera el material que eventualmente ha estado en las playas. Conforme la marea baja, el refluo puede aumentar las corrientes de resaca y alimentar las corrientes a lo largo de la costa. Las corrientes de resaca pueden ser mayores en bajamar que en pleamar. El nivel de la marea controla la intensidad de la ola rompiente y por lo tanto la intensidad de la circulación (Sonu, 1972). En otras palabras, las corrientes de resaca interactúan con el flujo y el refluo de las mareas, ellas modifican la dirección de las aguas costeras hacia y fuera de la costa, pudiendo ser mayores en bajamar.

El viento tiene efectos directos e indirectos que son significantes en la playa y en el grado de sedimentación. (Svasek y Terwindt, 1974). La zona que está sobre el promedio de pleamares está continuamente bajo la influencia directa del viento. La influencia indirecta del viento consiste en la generación de olas que a su vez producen corrientes a lo largo de la costa. Las brisas marinas intervienen en la generación de corrientes que transportan los sedimentos. Los vientos, igualmente modifican la textura y la superficie de la cara posterior de la berma. Durante condiciones de baja marea la parte superior de la playa es comúnmente secada por los vientos, lo cual facilita el transporte tierra adentro de la arena y la acumulación tras la berma. Vientos hacia la costa producen un significativo transporte de arena hacia tierra. Vientos hacia fuera de la costa causan transporte hacia mar adentro del sedimento de las dunas y playa posterior, contribuyendo con material que es transportado en la zona litoral. Si el viento actúa en la dirección de la corriente litoral, la magnitud de la corriente resultante se incrementará (King, 1953).

El período de ocurrencia de cambios en la playa es muy similar al período del nivel del mar, demostrando así que la geomorfología de la playa está relacionada con los cambios del nivel del mar (Komar y Enfield, 1987). Sin embargo, es difícil separar cuantitativamente el efecto de las variaciones del nivel del mar del efecto de las olas y corrientes.

A pesar de que se han realizado pocos estudios sobre la respuesta de las playas ante los cambios del nivel del mar, es obvio que altos niveles del mar inundan zonas costeras bajas, pasando parte de la berma, o toda, para dejarla dentro de la zona de rompiente, con la consecuente erosión y transporte de sedimentos.

### 4.1.3 Corrientes cerca de la costa

Uno de los más importantes aspectos de la acción de las olas en aguas rasas es la generación de corrientes a lo largo de la costa, llamadas corrientes litorales.

Según la clasificación del Shore Protection Manual (1975), la zona litoral está comprendida entre justo atrás de la rompiente más lejana y la línea de playa.

En esta zona se desarrollan dos sistemas de corrientes inducidos por las olas que llegan a las playa. Uno de ellos ocurre cuando las crestas de las olas llegan paralelas a la línea de playa y se manifiesta en forma de celdas de circulación con corrientes de resaca que se dirigen mar adentro (figura 24a).

Este sistema es normalmente generado por variaciones en la altura de las olas rompientes a lo largo de la playa (Bowen e Inman, 1969). El nivel instantáneo del agua en zonas de rompientes mayores está más alto que en zonas de bajas rompientes, esto produce un flujo de agua hacia zonas de menor altura de olas donde converge y gira hacia el mar.

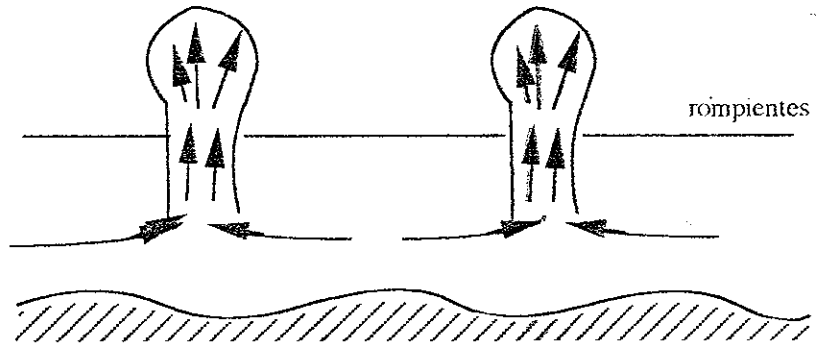
Las variaciones de la altura de la ola pueden ser producidas ya sea por refracción causando convergencia y divergencia de los rayos ortogonales ó por ondas atrapadas en la zona costera interactuando con las olas incidentes.

El segundo y más común sistema de corrientes litorales ocurre cuando las olas rompen formando un ángulo considerable con la playa (mayor que 5 grados) produciendo una corriente relativamente continua a lo largo de la playa (Komar, 1969) (figura 24b). Estas corrientes son generadas por el esfuerzo de radiación llevado por las olas (Longuett-Higgins, 1970).

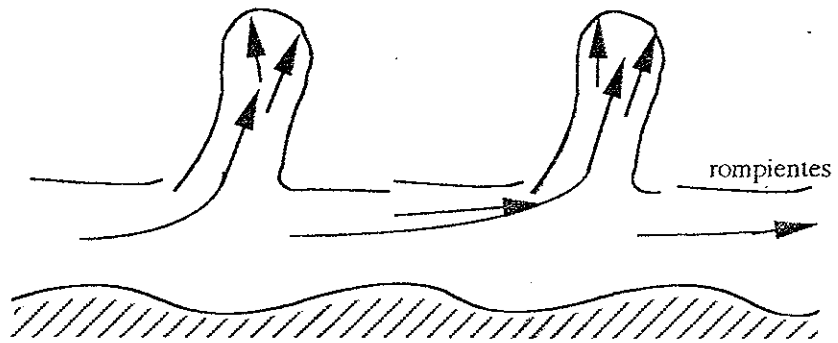
#### 4.1.3.1 Velocidad de la corriente litoral

La magnitud de la velocidad de estas corrientes varía a través de la zona de rompiente. Aunque hay varias teorías, en general la velocidad se incrementa con distancia desde la línea de playa hasta llegar a un máximo en la posición central y luego decrece rápidamente hacia fuera de la zona

A. Celda de circulación (Incidencia normal del oleaje)



B. Circulación general (Incidencia oblicua del oleaje)



C. Distribución de las velocidades de la corriente litoral para incidencia oblicua del oleaje

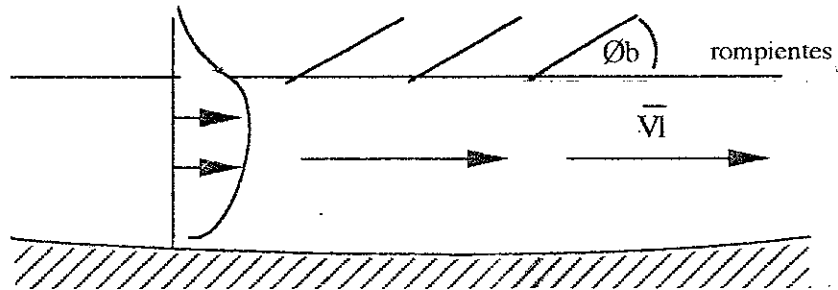


Figura 24. Patrón de corrientes en la zona litoral

de rompiente (figura 24c). Una expresión para obtener esta magnitud máxima fue dada por Longuet-Higgins (1970):

$$V_l = M (gH_b)^{1/2} m \sin 2\phi_b$$

donde la magnitud de la corriente  $V_l$ , puede ser estimada directamente de la pendiente de playa  $m$ , de la altura de ola rompiente  $H_b$ , del ángulo de rompiente  $\phi_b$  y del coeficiente  $M$  que está dado por:

$$M = \frac{0.694 \gamma^{-1/2}}{f}$$

en que  $\gamma$  es el índice de rompiente,  $\gamma^{-1/2}$  el coeficiente de mezcla que varía entre 0.17 para rompientes de derrame y 0.5 para rompientes de volteo, y  $f$  es el coeficiente de fricción que para fondo arenoso es  $\approx 0.01$ .

Escogiendo  $\gamma^{-1/2} = 0.4$  para el área de San Pedro, dado que predominan las olas tipo volteo, el valor de  $M$  sería de 43.9 con lo que la velocidad instantánea para olas de 0.60 m de altura de rompiente que arriban con un ángulo de  $10^\circ$  a una playa de 4 % de pendiente sería de 0.147 m/s. A pesar de que este valor calculado es aproximado al obtenido en el campo, los datos tomados fueron insuficientes como para obtener valores confiables para las condiciones de la playa de estudio. La principal dificultad fue debido a las imprecisiones que se tuvieron al determinar  $\phi_b$ . Se intentaron hacer algunas correlaciones de los datos indicados, sin embargo no se logró la confiabilidad aceptable: inferior a 85%.

El método holandés de Bijker, es utilizado por algunos investigadores pero se dificulta su aplicación para la estimación de  $V_l$ , pues además de altura de ola y ángulo de rompiente, considera otros parámetros como período  $T$ , pendiente de la playa ( $m$ ), rugosidad ( $r$ ), profundidad ( $h_b$ ) e índice de rompiente ( $\gamma$ ). Este método está sintetizado en el texto guía del curso de Transporte de Sedimentos de la ESPOL.

#### 4.1.4 Transporte litoral

Las olas rompiendo con un ángulo con la línea de costa y las corrientes a lo largo de la playa generadas por estas olas se combinan para causar el transporte de sedimentos a lo largo de la costa, el cual ocurre en su mayoría dentro de la zona de rompiente. Este transporte se conoce como transporte litoral.

El sedimento en la zona litoral puede desplazarse de dos maneras:

- Transporte de sedimentos hacia y fuera de la costa: los sedimentos finos de la playa son puestos en suspensión y llevados fuera de la costa en épocas de gran energía de oleaje mientras que partículas más gruesas son depositadas en la playa. En oleajes bajos ocurre lo contrario y la playa tiende a estabilizarse.
- Transporte a lo largo de la línea de costa: el "run up" y la gravedad generan un flujo de retorno hacia abajo de la playa, causando un movimiento de la partícula en zig-zag, con un desplazamiento neto en dirección de la corriente.

La arena es transportada como carga suspendida y carga de fondo por la corriente a lo largo de la costa. Gran parte de la carga suspendida es levantada del fondo por la acción de las olas y luego transportada por la corriente. El transporte de carga de fondo es el movimiento de deslizamiento, rodamiento o saltación de los granos inducido por el agua moviéndose por el fondo.

El transporte de carga suspendida y de fondo ocurre sobre toda la rompiente pero es máximo donde la turbulencia y la velocidad de corriente son máximas. La arena fina es comúnmente llevada como carga suspendida y arena más gruesa como carga de fondo. Producto del transporte litoral, las arenas finas son llevadas en grandes volúmenes y sobre grandes distancias con respecto a arenas gruesas.

##### 4.1.4.1 Transporte litoral neto y bruto

El movimiento de arena a lo largo de la zona litoral producido por la acción de las olas y las corrientes es llamado deriva litoral. La razón  $Q$  a la cual la deriva litoral se mueve paralela a la línea de costa es la razón de

transporte a lo largo de la misma. Ya que el movimiento es paralelo, hay dos posibles direcciones: izquierda o derecha, relativas a un observador mirando hacia el mar.

El transporte litoral bruto ( $Q_b$ ) es la suma de los valores absolutos de las cantidades de transporte de deriva litoral hacia la derecha ( $Q_1$ ) y hacia la izquierda de un punto de la playa ( $Q_2$ ):

$$Q_b = Q_1 + Q_2$$

El transporte litoral neto ( $Q_n$ ), es la diferencia de las cantidades de deriva litoral:

$$Q_n = Q_1 - Q_2$$

Aunque las razones de transporte a lo largo de la costa son generalmente dadas como volumen de sedimento anual, debe recordarse que la razón instantánea local puede ser extremadamente variable, excediendo la razón promedio anual en presencia de fuertes oleajes y cayendo a cero durante muy bajos oleajes; además, la razón de transporte anual puede variar ligeramente debido a fluctuaciones en el oleaje, modificaciones en estructuras costeras y variaciones en el volumen de sedimento de una fuente principal, por ejemplo: el aporte de un río en época lluviosa.

#### 4.1.4.2 Métodos de estimación

Existen varios métodos usados para estimar la razón de transporte de sedimentos. Uno aceptable es tomar la razón conocida de un sitio cercano, con adaptaciones basadas en las condiciones locales, o por medio de la estimación del volumen sedimentado, por ejemplo: al costado de una estructura que interrumpe el transporte litoral se puede aproximar la razón anual de sedimentación y por ende del transporte o acarreo litoral.

Lo siguiente es una síntesis de los métodos:

El método empírico de Galvin utiliza la altura de ola rompiente como la única variable que determina la razón de transporte litoral

El método del flujo de energía, asume que la razón de transporte litoral depende de la componente a lo largo de la costa del flujo de energía o potencia de la ola ( $P_l$ ), el cual es a su vez función del ángulo de las olas relativo al contorno de la playa ( $\phi_b$ ) y de la altura de ola rompiente ( $H_b$ ).

El método recomendado por el SPM, llamado LEO (Litoral Environmental Observations), utiliza la densidad del agua de mar y datos de observaciones visuales en la rompiente, tales como  $H_b$ ,  $T$ , ancho de la rompiente, distancia flotador línea de playa, considera además un factor de fricción  $\approx 0.01$ .

CERC utiliza la altura de olas y su celeridad en aguas profundas y el ángulo de la ola rompiente. El valor empleado de altura de olas en aguas profundas se explica en la sección OLAS. Este método calcula solamente el transporte total dentro de la rompiente.

El método de Bijker involucra varios parámetros como  $T$ , ángulo de rompiente, índice de rompiente, pendiente de playa, rugosidad del fondo,  $D_{90}$ , altura del ripple, densidad del agua, densidad del sedimento, velocidad de caída. Mediante este método se obtiene la distribución de carga suspendida y de fondo a lo ancho de la rompiente.

Weggel y Perlin obtuvieron un método que, además de los datos utiliza datos de observaciones visuales utilizados en el programa LEO, involucra porosidad.

Komar (1988) presentó un método adaptado del de CERC y del modelo de Bagnold (1963) que utiliza los datos de las observaciones litorales en una playa de interés. Sánchez E. (1990) utilizó este método para estimar el transporte litoral en la playa de Tarqui, en Manta.

La descripción de los métodos mencionados se encuentra en el SPM, en las notas de clase del curso de Transporte de Sedimentos de la ESPOL, así como en otras publicaciones (28).

## 4.2 CALCULO DEL TRANSPORTE LITORAL

### 4.2.1 Capacidad del transporte litoral

Se ha estimado la capacidad del transporte litoral del sector de San Pedro para valores promedios en la época seca y húmeda. Para el efecto, a partir de los datos de las características litorales de corriente, altura y período de ola rompiente, etc. observadas en el área en las dos épocas, se seleccionaron los valores promedios o típicos de las variables oceanográficas que intervienen en los métodos de cálculo. Los métodos usados fueron los de LEO (Litoral Environmental Observations), CERC y Komar (Bagnold).

Los siguientes son los valores medidos para las variables indicadas.

Variable	época húmeda	época seca
altura rompiente (Hb)	0.60 m	0.80 m
período (T)	16 seg	14 seg
dist. flot. línea-playa (X)	37 m	42 m
ancho rompiente (W)	40 m	46 m
corriente litoral (VI)	0.14 m/s	0.18 m/s
altura ola en ag. prof. (Ho)	0.64 m	0.90 m

Los siguientes parámetros fueron considerados constantes para las dos épocas:





índice de rompiente ( $\beta$ )	0.8
pendiente de playa (m)	0.04
ángulo de rompiente ( $\theta_b$ )	10°
porosidad	0.4
densidad del sedimento ( s )	2650 Kg/m <sup>3</sup>
densidad el agua ( )	1025 Kg/m <sup>3</sup>
coeficiente de refracción (K <sub>r</sub> )	0.438
Diámetro D50	0.156 mm
Diámetro D90	0.125 mm
Diámetro D35	0.167 mm

#### 4.2.2 Relaciones matemáticas

La tabla siguiente indica las ecuaciones empleadas en el cálculo del transporte litoral en cada método:



RECIBIDO

TABLA VIII. FORMULACION UTILIZADA PARA LA ESTIMACION DEL TRANSPORTE LITORAL			
METODO	FORMULAS	DENOMINACION	UNIDADES
LEO	$V=0.2(X/W)-0.714(X/W)\ln(X/W)$ $PI=(gHbWVI(0.01))/(5\pi(V^6))$ donde VI $Q = 1290 PI$	Velocidad de corriente a lo largo de la costa Componente del flujo de energía a lo largo de la costa Velocidad medida en el campo Transporte litoral	adimensional (J/m.s) (m/s) (m <sup>3</sup> /s)
CERC	$S=0.040 (Hs)^2 Cb \sin \phi b \cos \phi b$	Transporte litoral	(m <sup>3</sup> /s)
KOMAR	$Qs = Is / ((\partial s - \partial) g a')$ $a' = 1 - \text{porosidad}$ $Is = K' (Ecn)b (VI/Um)$ $Um = (\nabla/2) \sqrt{(g (Hrms/\nabla))}$ $Cb = \sqrt{(g (Hrms/\nabla))}$ $E)b = (1/8) \partial g Hrms^2$ $Hrms = Hb / 1.4142$ $K' = 0.28$	Transporte litoral coeficiente Razón de transporte de peso sumergido Máxima velocidad orbital inducida por el oleaje Celeridad de grupo del oleaje en la rompiente Energía de olas en la rompiente Altura cuadrada media Coeficiente	(m <sup>3</sup> /s) adimensional (New/s) (m/s) (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ) (JOULES) (m) adimensional

#### 4.2.3 Resultados

De los resultados obtenidos a partir del método de Komar se obtienen valores de 200 y 460 m<sup>3</sup>/día para las épocas húmeda y seca, respectivamente, lo que da un acumulado de 96600 m<sup>3</sup>/época seca (may-dic) y 30000 m<sup>3</sup>/época húmeda (dic-abr), totalizando un estimado de 126600 m<sup>3</sup>/año.

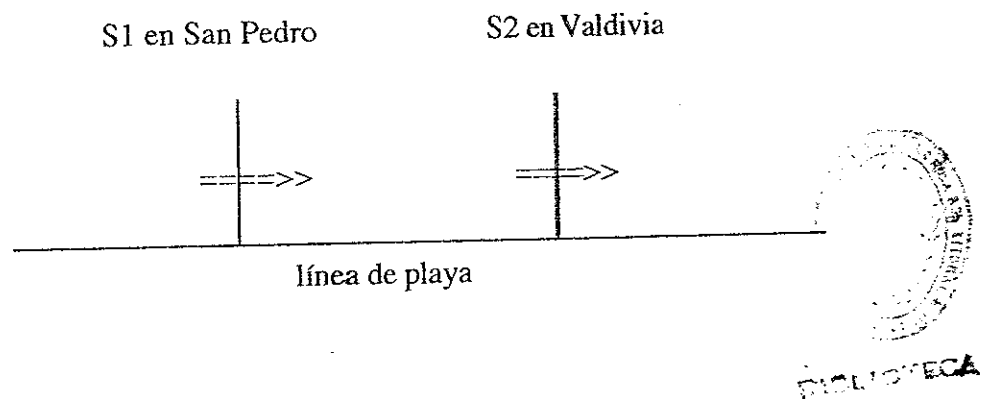
Sintetizando los resultados obtenidos con los tres métodos se tienen los siguientes valores de transporte litoral para el número de meses de cada época:

METODO	época húmeda (5 meses) (-)	época seca (7 meses) (+)	TOTAL (m <sup>3</sup> /año)	NETO (m <sup>3</sup> /año)
LEO	97734 m <sup>3</sup>	263706 m <sup>3</sup>	361440	165970
CERC	72675 m <sup>3</sup>	290000 m <sup>3</sup>	362675	217325
KOMAR	30000 m <sup>3</sup>	96600 m <sup>3</sup>	126600	66600

En la realidad existen fuertes variaciones en el transporte litoral en una playa determinada pudiendo producirse que durante unas pocas tormentas el transporte sea mucho más significativo que durante el resto del año. Debido a tormentas y a fuertes oleajes puede incrementarse la capacidad de transporte litoral promedio, con olas rompientes que superan alturas de 1.50 m que se mantienen durante varios días y que tienen impacto aún mayor cuando coinciden con las máximas mareas.

Con la información de campo obtenida para el estudio se aplicaron los métodos de estimación de la capacidad de transporte litoral de "Litoral Environmental Observations" (LEO), de CERC y de Komar. Los resultados de LEO y CERC se aproximaron, en comparación con el de Komar que dio valores inferiores del transporte litoral, por lo que se los consideró más aplicables al área de estudio.

Mediante una simple diferencia del valor de la deriva litoral que cruza por las estaciones San Pedro y Valdivia, a partir del método de CERC y los datos de observaciones litorales en la rompiente, estimamos el volumen de material que se queda en esta zona en un determinado tiempo. Así:



$$S2 - S1 = 3.06 \text{ m}^3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 55520 \text{ m}^3/7 \text{ meses}$$

Con estos antecedentes, se estima que en años de no ocurrencia de eventos extremos como el fenómeno El Niño, que es el caso del año 88, la capacidad de transporte litoral sería de aproximadamente 400.000 m<sup>3</sup>/año, aunque este valor puede ser superado por los efectos de fuertes oleajes que se producen durante varios días al año.

#### 4.3 DINAMICA COSTERA

Con la acción del oleaje en la playa, el sedimento es seleccionado y material fino es transportado hacia el mar y depositado en lugares de menor energía. La figura 25 muestra la diferencia de tamaño de grano en varios puntos del perfil de playa en San Pedro. La curva 1, correspondiente a la muestra de la playa entre las líneas de alta y baja marea, la curva 2 a la zona continua a la rompiente y el resto ubicadas en orden alejándose de la rompiente.

La dinámica costera del área también está influenciada por el máximo run-up (alcance del agua en la zona intermareal) de las olas, las cuales durante época de El Niño, en eventos extremos generan fuertes erosiones. Así, si se considera el nivel de máxima

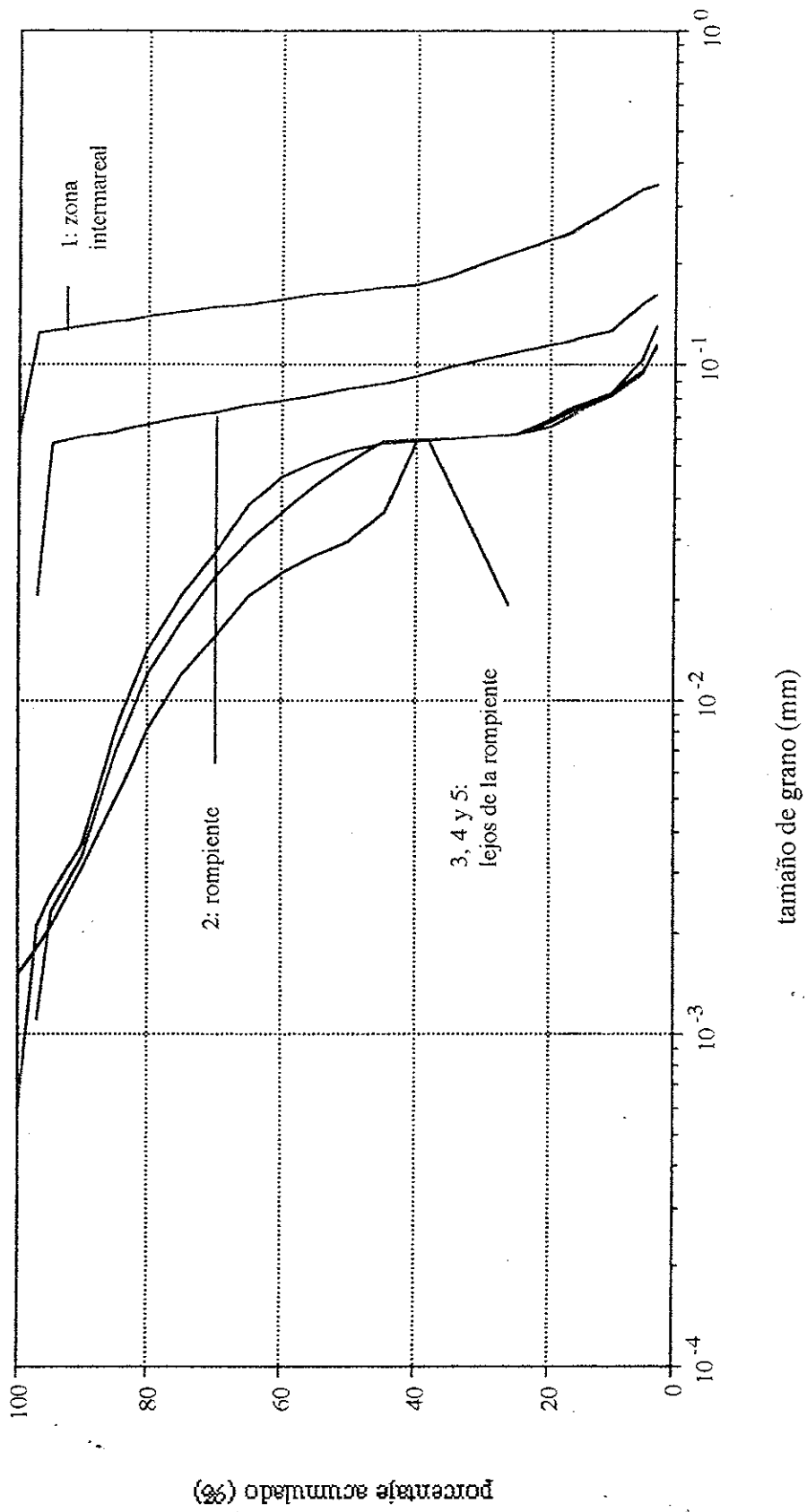


Figura 25. Distribución del tamaño de grano en varios puntos del perfil de playa

marea MHWS a la cual se le agrega una elevación de 0.50 m por efectos de un evento como El Niño 82-83, para un oleaje típico de tormentas de invierno de  $H_b=2$  m y  $T=18$  seg sobre la playa de San Pedro para el área del actual laboratorio de la ESPOL, daría un run-up de 0.50 m sobre este máximo nivel, lo que expondría a la zona contigua a la berma al ataque continuo de las olas. Para el caso de San Pedro no se tienen observaciones o datos del fenómeno El Niño 82-83, pero se conoce por moradores del lugar que al mar avanzó hasta las casas contiguas a la carretera y algunas veces la acción de las olas llegó hasta algo más de una cuadra dentro del pueblo.

De acuerdo a las direcciones predominantes del viento mostradas en la sección 3.5, y tomando en cuenta el alineamiento de la costa del sector, se indica que la mayor ocurrencia de los vientos del SO y O podría sugerir un arrastre de material de playa de la parte superior de la misma hacia tierra para luego depositarlo tras la berma. Son muy escasos los vientos del E y SE que producirían un transporte de material de la parte seca de la playa hacia la zona litoral para colaborar con el transporte en la rompiente.

#### 4.3.1 Cambios en los perfiles

Un nuevo levantamiento topográfico de la playa del CENAIM fue realizado en diciembre de 1989 para la Facultad de Ingeniería Marítima de la ESPOL (FMICM). Esta época fue afectada por la construcción de las edificaciones temporales del CENAIM que están localizadas muy cerca de la playa.

Para visualizar los cambios en tiempo de la zona costera se ha sobrepuesto dos perfiles de playa del plano LH1 y del nuevo trabajo de FIMCM, coincidentes geográficamente (figura 26). La ubicación de estos perfiles corresponde a la línea marcada con una X en la figura 4.

Aunque las mediciones fueron hechas en diferente época del año, es evidente que existe un retroceso de la playa, indicando que los cambios en la playa son función de las variaciones de la energía de las olas. Recuérdese que en diciembre ya han iniciado las marejadas del norte que modifican el perfil de playa que luego tiende a restablecerse en época de calmas.

El volumen erosionado puede estimarse por la diferencia de áreas bajo la curva, lo cual da un valor aproximado de 50 metros cúbicos por ancho unitario de costa

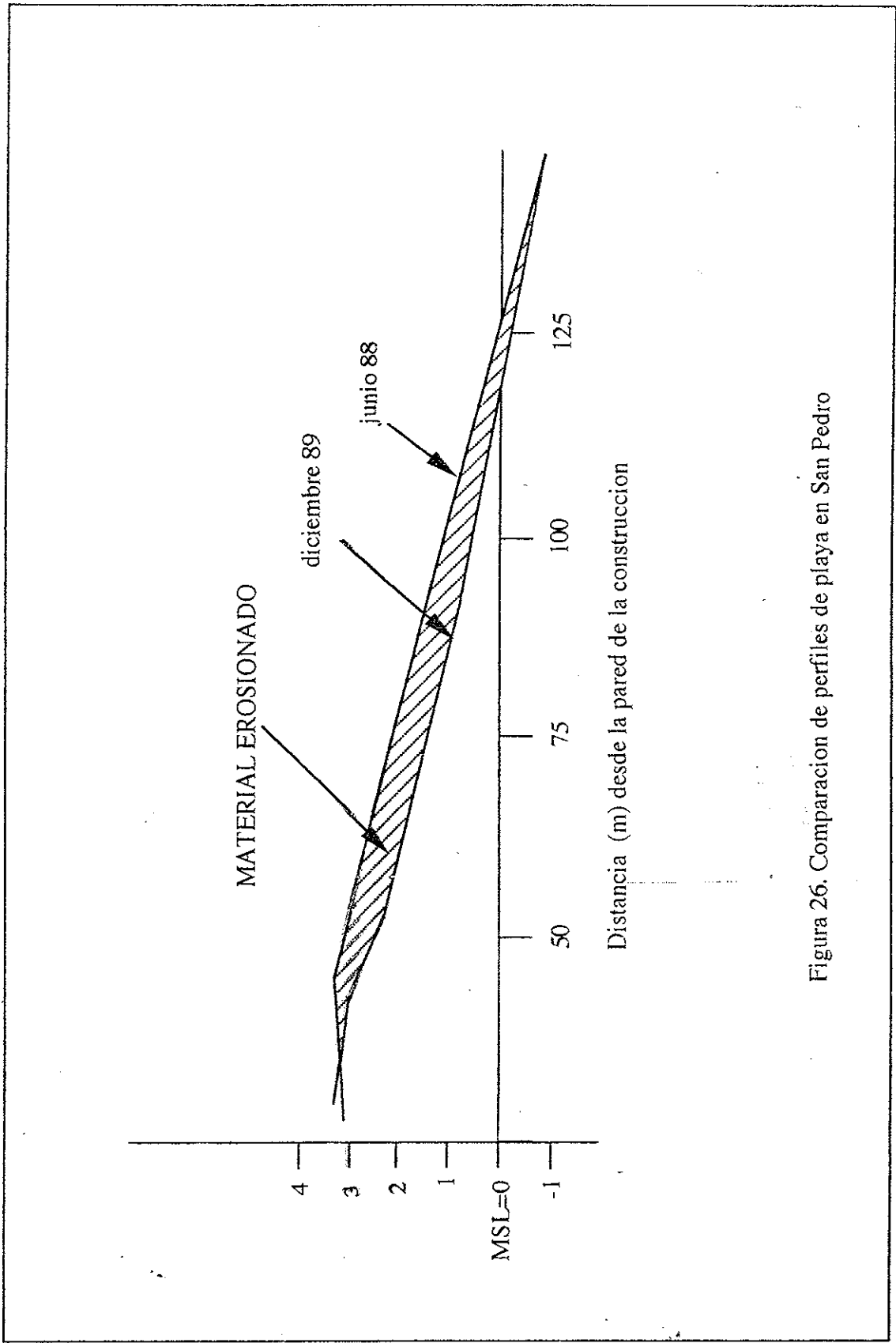


Figura 26. Comparacion de perfiles de playa en San Pedro

en 18 meses. Sin embargo, este valor no debe ser considerado como definitivo puesto que sólo ha transcurrido poco más de un año entre las dos mediciones y la fecha de la última medición corresponde a diciembre, que es cuando ocurre la transición entre las épocas seca y húmeda.

#### 4.3.2 Uso de fotografías aéreas.

El análisis de fotografías aéreas es un método reconocido para la estimación del desarrollo de la playa. La exactitud de las mediciones varía de acuerdo a la altura de un punto de referencia, su distancia de la playa, la calidad de la foto y al ángulo con que la foto ha sido tomada con respecto a la playa de interés. En el presente trabajo se comparan fotografías aéreas de la zona únicamente para propósitos de análisis cualitativos.

Comparando las fotografías aéreas de 1977 y 1986 tomadas por el Instituto Geográfico Militar, se aprecia que aparentemente hubo una acreción de las playas de San Pedro y Valdivia. Esta observación es contraria a la tendencia que aparece del análisis de los perfiles de playa efectuados entre 1988 y 1989 (fotografías 1 y 2).

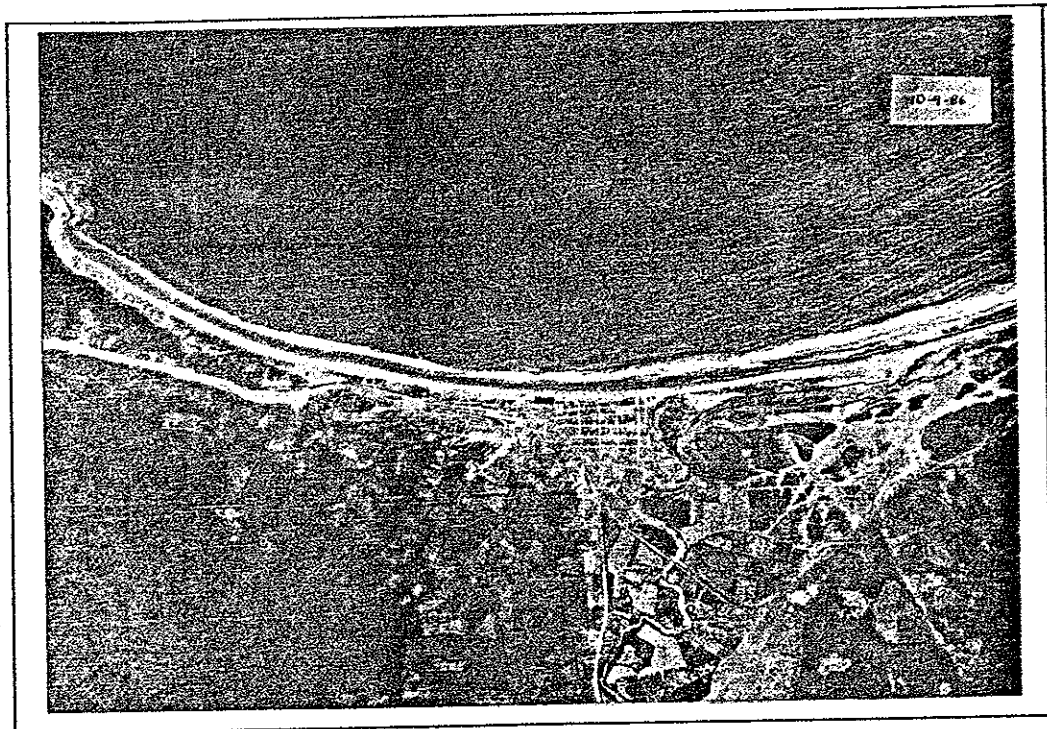
#### 4.3.3 Discusión

La dinámica de la playa de estudio puede ser mejor entendida si se analizan los procesos que ocurren en toda la unidad fisiográfica comprendida entre Punta San Antonio y Punta Montañita. De lo encontrado a partir de los perfiles y de las fotografías aéreas es factible plantear como hipótesis que posibles cambios a una escala mayor que las normales modificaciones estacionales de las playas entre la época seca y húmeda ocurren.

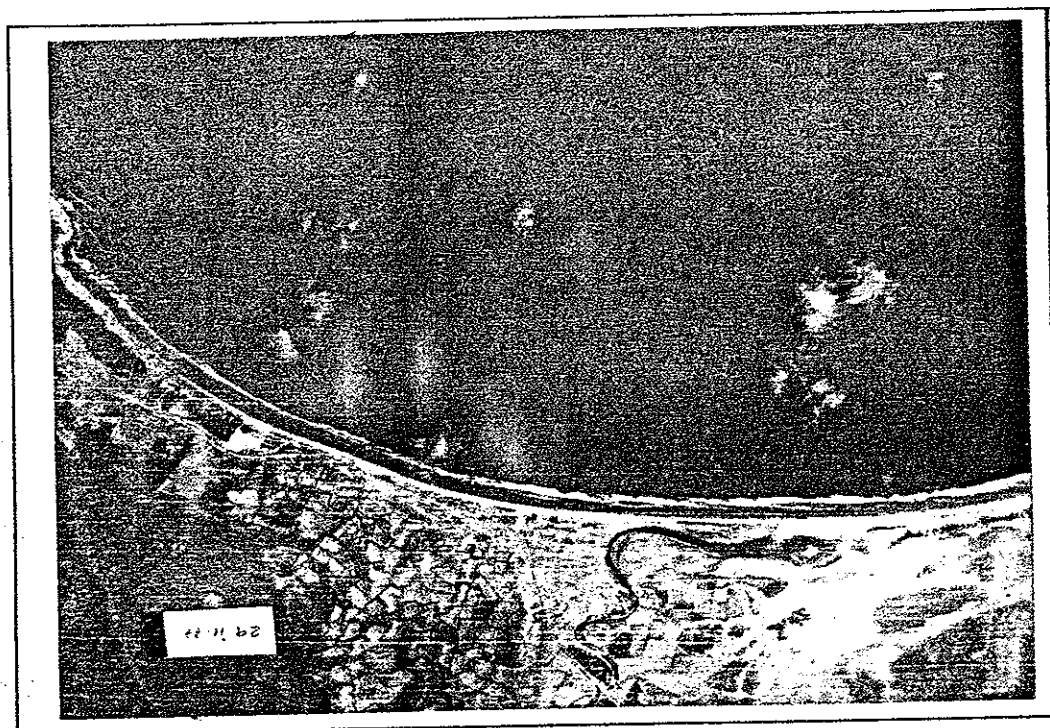
De fotografías aéreas tomadas sobre Manglaralto se nota que en la playa hay una especie de cúspide de gran tamaño, es decir, la playa no es rectilínea, sino que presenta una salida hacia el mar en Manglaralto, lo que implicaría una evidente erosión (fotografía 3).

Durante el fenómeno El Niño 82-83 se presentaron fuertes oleajes provenientes del norte con una ocurrencia mucho mayor que lo normal, además con una





Fotografía 1. San Pedro-Valdivia. Año 1986.



Fotografía 2. San Pedro-Valdivia. Año 1977.





Fotografía 3. Manglaralto. Año 1977.

elevación del nivel medio del mar de hasta 50 cm que se mantuvo durante varias semanas. La unión de estos dos factores determinó que existiera gran cantidad de erosión en muchas playas cercanas a San Pedro como Manglaralto y Montañita. Sin duda esto también tuvo efectos en las playas de San Pedro y Valdivia que podrían estar reflejados en las fotografías aéreas y en los perfiles. El autor de esta tesis, usuario de las playas de Manglaralto y Montañita, pudo constatar que durante el evento 83 éstas sufrieron un retroceso apreciable evidenciado por la socavación del malecón de las poblaciones y por los daños -y algunas veces destrucción- de edificaciones costeras cuyos restos hoy se observan en la zona intermareal (observaciones personales).

Se ha estimado que durante las intensas lluvias del 83 el volumen del material erosionado en la playa de Manglaralto y sus cercanías, sumado a la gran cantidad de sedimento aportado por los ríos que desembocan en la ensenada fue mucho mayor al depositado en la zona de San Pedro.

Si se mira esquemáticamente en el gráfico donde aparece la ensenada comprendida entre Punta San Antonio y Punta Montañita (figura 27), un posible comportamiento y patrón de transporte de sedimentos en forma comparativa de El Niño y condiciones normales sería que el material erosionado en el sector de Manglaralto y Montañita mas el aportado por los ríos fue transportado en dirección sur por la corriente litoral. Una parte se depositó en el sector de Valdivia y otra continuó viajando hacia el sur atravesando Punta San Antonio y/o se depositó en la plataforma marina adyacente a la playa.

Este patrón podría ser verificado si cuando ocurra otro fenómeno El Niño se efectúan las mediciones correspondientes.

Ya que las playas de San Pedro y Manglaralto no han vuelto a su posición de equilibrio, quizás se trata de un movimiento que aunque puede ser periódico dependiendo de la presencia de fenómenos El Niño, tiende a erosionar la playa del sector norte de la ensenada durante condiciones normales y a acrecentar en el sector sur.

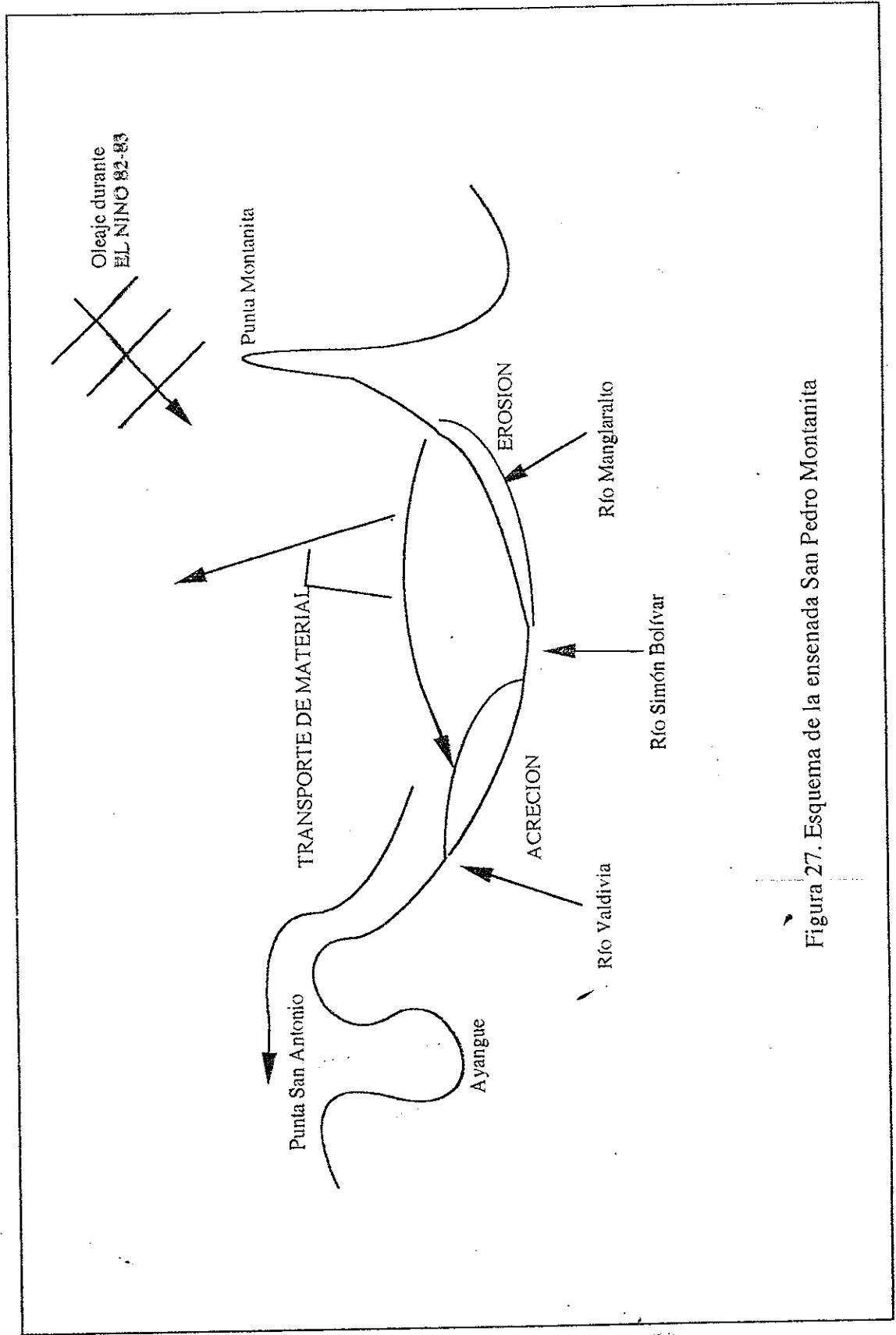


Figura 27. Esquema de la ensenada San Pedro Montanita

## CONCLUSIONES

La dinámica del área costera de San Pedro-Valdivia está determinada principalmente por la acción de las olas y las corrientes predominantes. Otros agentes ambientales como vientos y precipitaciones tienen una menor influencia en esta dinámica. Durante las épocas en que ocurren eventos extraordinarios como el fenómeno El Niño 82-83 ha sido observado que el efecto de las fuertes precipitaciones es de primordial importancia en la dinámica del área debido a las fuertes descargas sedimentarias que son arrojadas a la ensenada comprendida entre San Pedro y Punta Montañita.

Las intensas calmas de la época en que se recolectaron las muestras de sedimento de fondo determinaron que el área muestreada esté constituido por fondo limoso, principalmente en el sector norte. Fuera de la rompiente el sedimento se encontró mal clasificado y dentro de ella bien clasificado. Muchos de los sedimentos encontrados en el área provienen de las descargas en épocas lluviosas del Río Valdivia.

Para la época húmeda, la dirección de las corrientes superficiales y subsuperficiales en términos generales coincidió durante cada día de mediciones. Aunque las direcciones de los vientos y de las corrientes fueron hacia la costa éstas no coincidieron anotándose una predominancia de vientos del SO, en tanto que las corrientes avanzaron en dirección hacia un rango entre este-noreste (ENE) y este-sureste (ESE).

Durante la época seca se notaron diferencias en las direcciones de las corrientes superficiales y subsuperficiales en cada día de medición. Al igual que en la época húmeda, la dirección del viento no coincidió con la de las corrientes, especialmente las superficiales, aunque ambos estuvieron dirigidos hacia la costa. Las magnitudes promedio de las velocidades estuvieron cercanos a 0.1 m/seg alcanzando valores máximos de velocidad de alrededor de 0.2 m/seg, anotándose que los promedios de las velocidades de la capa superficial y subsuperficial en la época húmeda son aproximadamente el doble que los de la época seca.

Los procesos litorales durante la época de estudio estuvieron dominados por la acción de las olas rompientes, sin evidenciarse mayormente efectos de otros agentes tales como descargas de los ríos y drenajes provenientes de la costa. Las corrientes litorales predominantes para las dos épocas estudiadas fue hacia el norte, lo cual estuvo relacionado con la orientación de la costa y el ángulo que tuvieron las olas rompientes con respecto a la misma.

Las olas rompientes observadas tuvieron valores de altura hasta de 1.50 m. anotándose oleajes de mayor persistencia por mar de leva y producido por vientos locales (mar de viento) durante la época seca; y, marejadas de mar de leva provenientes del norte que producen altas rompientes de duración significativa durante la época húmeda sin un efecto tan representativo del viento local como en la época seca. Los tipos de olas observadas fueron principalmente de volteo y derrame.

La presencia de las olas altas con períodos largos provenientes del norte determina un retroceso de la línea de playa durante la época húmeda, notándose además que la ocupación parcial de la zona de playa efectuada para la edificación del CENAIM, por la presencia de un relleno temporal frente a éste, tuvo efectos erosivos sobre la playa del área adyacente.

La ocurrencia de fenómenos EL NIÑO, especialmente los de fuerte intensidad constituyen el principal causante natural de importantes modificaciones producidas por procesos sedimentarios y erosivos en el sector costero comprendido entre San Pedro y Montañita.

Durante fuertes episodios como el ocurrido en 1983, el nivel del mar asciende considerablemente, quedando una extensa zona de playa contigua a la berma expuesta al ataque de olas rompientes muy altas. Considerando que este hecho se mantiene durante un largo tiempo -que puede inclusive llegar a varios meses-, las construcciones ahí levantadas corren peligro ante la inminente llegada de un evento EL NIÑO.

Este estudio permitió estimar que en años de no ocurrencia de eventos extremos como el fenómeno el Niño, la capacidad de transporte litoral es de aproximadamente 400.000 m<sup>3</sup>/año, aunque este valor puede ser superado por los efectos de fuertes oleajes que se producen durante varios días al año.

Se cree que cambios a escala mayor a un año en toda la ensenada comprendida entre Punta San Antonio y Punta Montañita en los cuales intervienen el efecto de la ocurrencia de los eventos del Niño de fuerte intensidad ocurren, pues, a partir de los años 82-83 se ha notado un considerable retroceso de la línea de costa en Manglaralto mientras de las fotografías aéreas se ha detectado preliminarmente un avance hacia el mar de la línea de playa en la zona de San Pedro-Valdivia, lo cual ha sido confirmado por versiones de los pobladores del sector. En presencia de eventos El Niño es de esperarse la erosión de la playa por la acción de los altos niveles del mar y de los fuertes oleajes.

Los datos utilizados en el presente estudio han permitido establecer cambios estacionales en algunas de las características litorales y costeras del área estudiada, sin embargo, las limitaciones propias del estudio no permitieron efectuar un análisis más profundo y global de estas variaciones.

El área de estudio es de importancia para la ESPOL debido a la localización del CENAIM; y, para las actividades socio-económicas ha sido también reconocida por lo que se ha definido como una Zona Especial de Manejo (ZEM) dentro del Programa de Manejo de Recursos Costeros (PMRC), por lo que se recomienda continuar efectuando estudios de los procesos costeros en el área a fin de tener un mejor conocimiento de la oceanografía de la región, lo que permitirá una mejor utilización de los recursos de la zona.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Allauca, S., 1985, Estudio del Oleaje en Valdivia, Tesis, FMICM, ESPOL.
- 2.- Allauca y Cardin, 1987, Análisis de las Olas en la Costa Central del Ecuador, Acta Oceanográfica del Pacífico, 1987, INOCAR p. 1-33.
- 3.- Ayón, H, 1985, Grandes Rasgos Geomorfológicos de la Costa Ecuatoriana, Fundación Pedro Vicente Maldonado, Proyecto de Manejo de Recursos Costeros (PMRC), Serie de Informes 1, p. 2-31.
- 4.- Ayoub, M., 1985, Procesos Litorales en Monteverde, Tesis, FIMCM, ESPOL.
- 5.- Bird, E., 1981, Coasts, M.I.T. Civil Engineering Department, cap I-VI.
- 6.- Bristow y Hoffstetter, 1986, Léxico Estratigráfico, ESPOL, p. 258-259.
- 7.- Davis, R., 1985, Coastal Sedimentary Environments, 2nd Revised, Springer-Verlag, p. 379-444.
- 8.- Department of Civil Engineering, Coastal Engineering, Vol I, Delf University of Technology, Delf, The Netherlands, p. 158.
- 9.- ESPOL, 1990, Estudios Oceanográficos, Programa de Estudio de los Procesos Costeros, Convenio A. P. Manta-ESPOL.
- 10.- Facultad de IMCM, 1988, Información Oceanográfica Básica para el Centro Nacional de Acuicultura proyectado en el área de San Pedro-Manglaralto, ESPOL, 33 pp.
- 11.- Fundación Pedro Vicente Maldonado, 1987, Ecuador, Perfil de sus Recursos Costeros, Proyecto de Manejo de Recursos Costeros.



- 12.- Hwang, D., 1981, Beaches Changes on Oahu as revealed by Aerial Photographs, University of Miami. 146 pp.
- 13.- INOCAR, 1988, Tabla de Mareas.
- 14.- Komar, P., 1976, Beach Processes and Sedimentation. Prentice-Hall, USA, 427 pp.
- 15.- Komar, P., 1983, Handbook of Coastal Processes and Erosion, CRC Press, Florida, p. 1-20.
- 16.- Komar, P. y Enfield, D. 1987, Short-Term Sea Level Changes and Coastal Erosion
- 17.- Komar, p., 1988. Environmental Controls on Litoral Sand Transport, 21st Coastal Engineering Conference, CERC/ASCE, España, cap 92.
- 18.- Lanfredi, N.W., 1974, Investigaciones Marítimas y Portuarias, (Seminario), ESPOL.
- 19.- Miró, M., 1973. Curso de Geología Marina, INOCAR, Programa de Investigación y Exploración Oceanográfica, 1971-1975, capítulos I, VI y V.
- 20.- Moffatt y Nichol, 1978. Santa Cruz Harbor Shoaling Study, Report for USA ARMY Corp of Engineers, California, capítulos A, B y C.
- 21.- Ottman, F., 1967, Introducción a la Geología Marina y Litoral, Endeba, Editorial Universitaria de Bs. As. p. 1-154.
- 22.- Paredes, R., 1984, Estudio de corrientes marinas en la zona Valdivia-San Pedro, Tesis, FIMCM, ESPOL.
- 23.- Sánchez, E., 1990, Proyecto Características Litorales en el sector comprendido entre San Pedro y Manglaralto, CONUEP-ESPOL, Informe Final en preparación.

- 24.- Sánchez, E., 1978, Transporte Litoral en General Villamil (Playas), Tesis, Departamento de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, ESPOL.
- 25.- Soledispa, B., y Villacrés, J., 1989, Estudio Sedimentológico y Mineralógico de la Plataforma Continental Ecuatoriana en el tramo comprendido entre Salinas y Ayampe, Acta Oceanográfica del Pacífico, Volumen 1. INOCAR, 1989.
- 26.- US ARmy Corps of Engineers, 1984, Shore Protection Manual, Vol I, 4th Edition, Coastal Engineering Research Center, USA, p. 4.1-4.148.
- 27.- Villalba, P., 1989, Variabilidad Temporal y Espacial de los Nutrientes entre San Pedro y Manglaralto, Tesis, FIMCM, ESPOL.
- 28.- Weggel, J.R. y Perlin, M. Statistical Description of Longshore Transport Environment, Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering, Vol 114, N° 2. Mar 1988.
- 29.- Zambrano, L., 1982. Levantamiento Hidrográfico para el Proyecto del Terminal Pesquero Artesanal. Tesis, Depto. IMCM, ESPOL.