



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

**“Análisis de los Procesos Costeros en La Libertad”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

**OCEANÓGRAFO**



**BIBLIOTECA  
FAC. ING.  
MARITIMA**

**Presentada por:**

**Leonor Vera San Martín**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO**

**2000**

# AGRADECIMIENTO

A todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron en la realización de este trabajo.

# DEDICATORIA



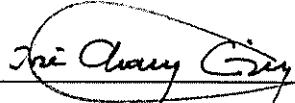
BIBLIOTECA  
FAC. ING.  
MARITIMA

**A MIS PADRES Y  
QUERIDO ESPOSO**

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



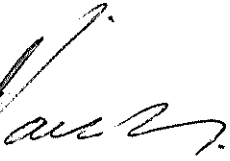
Ing. Bolívar Vaca Romo  
Subdecano de la FIMCM



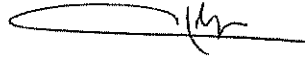
Ing. José Chang Gómez  
DIRECTOR DE TESIS



BIBLIOTECA  
FAC. ING.  
MARITIMA



Ing. Enrique Sánchez Cuadros  
Miembro Principal



Ing. Héctor Ayón Jo  
Miembro Principal

# DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL)



BIBLIOTECA  
FAC. ING.  
MARITIMA

  
Leonor Vera San Martín

# RESUMEN

En el primer capítulo se describe la ubicación geográfica y características generales del área de estudio incluyendo las zonas adyacentes. Se determina la importancia económica del puerto dentro del entorno social en el que se desenvuelve el país.

En el capítulo siguiente, se ha recopilado toda la información histórica oceanográfica y meteorológica, se analiza cada parámetro, estudiando su comportamiento temporal, diferenciando claramente la época seca de la época lluviosa para establecer las diferencias correspondientes. Los principales parámetros considerados en el estudio de procesos costeros son: olas, corrientes, mareas, temperaturas, vientos y nivel del mar. Estos datos son el producto de algunos años de mediciones, de los cuales se obtuvieron las normales y tendencias de comportamiento, es decir que se ha caracterizado a la zona de acuerdo a datos estadísticos. Además se exponen las características del agua de mar, producto de estudios anteriores.

En el tercer capítulo, se analizan los datos obtenidos para el cálculo de los procesos costeros, que incluyen altura de olas rompientes, velocidad de la corriente litoral, inclinación de la playa, entre otros. Con estos valores se realiza el cálculo del transporte litoral, mediante tres métodos distintos, propuestos por Galvin, Komar y Cerc, obteniendo valores que se comparan con el fin de establecer las diferencias basándose en la práctica y en

estudios realizados con anterioridad. De acuerdo a los resultados y a los análisis realizados en las costas ecuatorianas, se deduce que el método más idóneo a aplicarse es el de Komar.

Finalmente se analizan cartas batimétricas, perfiles de playa y fotografías de la zona con el propósito de establecer los cambios en la línea costera y en la zona litoral específicamente, para determinar tanto cualitativa como cuantitativamente la influencia de la acción de los procesos costeros en La Libertad y el patrón erosivo de la zona.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>I. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>4</b>
1.1. Ubicación geográfica de la región.....	4
1.2. Descripción Física de la zona.....	9
1.3. Aspectos Socioeconómicos.....	12
<b>II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>15</b>
2.1. Revisión de la información existente.....	15
2.1.1. Características oceanográficas e hidrográficas.....	15
2.1.1.1. Olas.....	18
2.1.1.2. Corrientes.....	23
2.1.1.3. Mareas.....	35
2.1.1.4. Masas de agua.....	37
2.1.1.5. Calidad de aguas en La Libertad.....	40
2.1.2. Condiciones Geológicas.....	46
2.1.2.1. Geomorfología.....	46



2.1.2.2.	Sedimentos de fondo.....	47
2.1.3.	Meteorología e Hidrología.....	53
2.1.3.1.	Vientos.....	53
2.1.3.2.	Precipitación.....	57
2.1.3.3.	Temperatura superficial del mar.....	60
2.1.3.4.	Temperatura del aire.....	61
2.1.4.	Nivel del Mar y Cambios Climáticos.....	66
2.1.4.1.	Nivel del mar.....	66
2.1.4.2.	Cambios Climáticos.....	75
2.2.	Planificación de las actividades.....	77
2.3.	Métodos de medición.....	80
2.4.	Tratamiento de la información.....	81

<b>III.</b>	<b>PROCESOS COSTEROS.....</b>	<b>82</b>
3.1.	Olas Rompientes.....	82
3.1.1.	Alturas.....	83
3.1.2	Períodos.....	86
3.1.3.	Dirección .....	89
3.1.4.	Clasificación de Olas rompientes.....	91
3.1.4.1.	Sólidos en suspensión en la rompiente.....	96
3.1.5.	Refracción de olas.....	100
3.2.	Corriente Litoral.....	105
3.3.	Cálculo del Transporte Litoral.....	111

3.3.1. Distribución del sedimento a lo largo de la Línea costera.....	116
3.4. Correlación de Parámetros .....	118
3.4.1. Correlación entre Altura de olas y vientos.....	119
3.4.2. Correlación entre vientos y corrientes en el veril de los 13 m.....	119
3.4.3. Correlación entre dirección de vientos y corrientes litorales.....	120
3.4.4. Correlación entre las mareas y las corrientes litorales.....	120
3.5. Impactos de los Procesos Litorales en la Línea de Costa.....	123
3.6. Perfiles Perpendiculares a la Línea de Playa.....	130
3.7. Variación de la Línea de Costa.....	134
<b>IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>135</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>137</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
1.1 Ubicación geográfica de La Libertad.....	6
1.2 Ubicación de poblaciones cercanas a La Libertad.....	7
1.3 Zona de Influencia del área de estudio.....	8
1.4 Características Físicas del área de estudio.....	11
2.1 Ubicación de los equipos instalados en la medición de olas y corrientes.....	17
2.2 Promedios diarios de altura de olas en La Libertad (22/10/94- 20/12/94).....	20
2.3 Promedios diarios de altura de olas en La Libertad (2/02/95-06/04/95).....	20
2.4 Ocurrencia de altura de olas en la época seca en La Libertad....	20
2.5 Ocurrencia de altura de olas en la época húmeda en La Libertad.....	20
2.6 Promedios diarios de períodos de olas en La Libertad (22/10/94-20/12/94).....	22
2.7 Promedios diarios de períodos de olas en La Libertad (2/02/95-06/04/95).....	22
2.8 Ocurrencia de período de olas en la época seca en La Libertad.....	22
2.9 Ocurrencia de período de olas en la época húmeda en La Libertad.....	22
2.10 Trayectoria seguida por las veletas en la cuadratura de octubre/94. ....	24

2.11	Trayectoria seguida por las veletas en la sicigia de octubre/94.....	25
2.12	Trayectoria de las veletas en la cuadratura de marzo/95.....	27
2.13	Trayectoria de las veletas en la sicigia de marzo/95.....	28
2.14	Frecuencia de la dirección de las corrientes en la época seca, 1994.....	34
2.15	Frecuencia de la dirección de las corrientes en la época húmeda, 1995.....	34
2.16	Curva de Marea en La Libertad a) Registro de 2 días b) Registro normalizado de 45 días.....	36
2.17	Distribución de Masas de Agua en el Pacífico Tropical Oriental.....	39
2.18	Valores máximos de hidrocarburos disueltos y dispersos, frente a La Libertad.....	43
2.19	Valores mínimos de oxígeno disuelto, frente a La Libertad.....	43
2.20.a	Distribución Horizontal de Hierro.....	45
2.20.b	Distribución Horizontal de Cobre.....	45
2.20.c	Distribución Horizontal de Zinc.....	45
2.21	Clasificación textural de los sedimentos según Shepard, 1954.....	50
2.22	Distribución de Sedimentos en la Zona de Estudio.....	51
2.23	Rosa de los Vientos de La Libertad.....	54
2.24	Promedios mensuales de precipitación (1988 - 1996).....	59
2.25	Promedios mensuales de temperatura del mar .....	63
2.26	Promedios mensuales de temperatura del aire.....	63

2.27.a	Comparación entre las temperaturas promedios mensuales del aire y mar en La Libertad a las 7h00 .....	65
2.27.b	Comparación entre las temperaturas promedios mensuales del aire y mar en La Libertad a las 13h00.....	65
2.27.c	Comparación entre las temperaturas promedios mensuales del aire y mar en La Libertad a las 19h00.....	65
2.28	Ubicación del mareógrafo en La Libertad.....	68
2.29	Normal del nivel medio del mar.....	70
2.30	Promedio diario del nivel medio del mar (1982).....	71
2.31	Promedio diario del nivel medio del mar (1983).....	71
2.32	Promedio mensual del nivel medio del mar (1997).....	72
2.33	Promedio mensual del nivel medio del mar (1998).....	72
2.34	Promedio mensual del nivel medio del mar (1994).....	73
2.35	Promedio mensual del nivel medio del mar (1995).....	73
2.36	Ubicación de las estaciones de medición.....	79
3.1.	Dirección del oleaje en las estaciones de medición .....	90
3.2.	Zona de acción de las olas.....	93
3.3.	Tipo de olas.....	94
3.4.	Diagrama de refracción con período de 14 s.....	102
3.5.	Diagrama de refracción con período de 16 s.....	103
3.6.	Dirección del oleaje a través de Internet.....	104
3.7.	Corrientes Litorales en las 4 estaciones de medición.....	109
3.8.	Volumen transportado las cuatro estaciones de medición.....	115

3.9.	Volumen idealizado de transporte de sedimentos.....	116
3.10.	Distribución del sedimento de acuerdo a su tamaño de grano.....	117
3.11.a.	Correlación entre olas y vientos, época seca.....	121
3.11.b.	Correlación entre olas y vientos, época húmeda.....	121
3.12.a.	Correlación entre corrientes y vientos, época seca.....	122
3.12.b.	Correlación entre corrientes y vientos, época seca.....	122
3.11.	Fotografías Niño 82-83.....	125
3.12.	Fotografías Niño 97-98.....	127
3.15.	Ubicación de Perfiles perpendiculares.....	132
3.16.	Perfiles perpendiculares a la Línea de Costa.....	133
3.17.	Variación de la Línea de Costa.....	137

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
I. Velocidades medias de corrientes obtenidas con flotadores en La Libertad.....	29
II. Frecuencia de la dirección predominante de las corrientes en el veril de 13 m, obtenidos por el método euleriano (época seca) en La Libertad.....	30
III. Velocidades de las corrientes durante el flujo y reflujo en el veril de 13m, obtenidos por el método euleriano, (época seca/1994).....	31
IV. Frecuencia de la dirección predominante de las corrientes en el veril de 13 m, en La Libertad (época húmeda/1995).....	32
V. Velocidades de las corrientes durante el flujo y reflujo en el veril de 13 m en La Libertad (época humeda/1995).....	33
VI. Clasificación del sedimento de fondo de acuerdo a su diámetro medio.....	52
VII. Dirección de los vientos (%) en La Libertad, período 1988-1996.....	55
VIII. Promedio mensual de velocidad de vientos en La Libertad, 1988-1996.....	56
IX. Promedios mensuales y acumulado anual de precipitación en La Libertad durante 1988 – 1996 (mm).....	58
X. Medias mensuales y anuales de temperatura media del mar en La Libertad, durante 1985 – 1996, (°C).....	61

XI.	Promedios anuales y mensuales de la temperatura media del aire en La Libertad, período 1988 – 1996, (°C).....	62
XII.	Promedios del nivel medio del mar en La Libertad (cm), 1948- 1996.....	74
XIII.	Altura de olas rompientes en La Libertad.....	85
XIV.	Períodos de Olas rompientes en las estaciones de medición.....	88
XV.	Ángulos que forman las crestas de las olas con la línea de costa.....	91
XVI.	Parámetro de surfing en las estaciones de muestreo.....	95
XVII.	Sólidos suspendidos en las cuatro estaciones de medición.....	99
XVIII.	Índice de Refracción.....	100
XIX.	Corrientes Litorales en La Libertad durante la época húmeda.....	107
XX.	Corrientes Litorales en La Libertad durante la época seca.....	108
XXI.	Corrientes Litorales teóricas.....	110
XXII.	Cálculo del Transporte de Sedimento (m <sup>3</sup> /s).....	114
XXIII.	Transporte anual de sedimentos en las cuatro estaciones m <sup>3</sup> /año.....	115
XXIV.	Alturas de erosión o acreción entre estaciones (h).....	116
XXV.	Sedimentación en las estaciones de muestreo en m <sup>2</sup> /por unidad de ancho.....	131
XXVI.	Alturas erosionadas de acuerdo a cartas batimétricas.....	135



# INTRODUCCIÓN

La Libertad es una ciudad importante dentro de la vida socioeconómica del país, constituye el puerto de abastecimiento comercial de algunos balnearios turísticos del país y por sí misma es un centro de atracción para el comercio e industrias.

Las otroras amplias playas de La Libertad se han erosionado debido a los efectos de la naturaleza sobre la zona costera, quedando atrás áreas completamente destruidas, lo que ha alejado a los turistas, que han buscado otros lugares como alternativas de esparcimiento. A esto último ha contribuido la presencia de construcciones domésticas y a las instalaciones de la industria del Petróleo cerca de la playa, los cuales aportan desechos contaminantes de diferente tipo al agua de mar..

Los efectos de los fenómenos naturales se observan hasta la fecha a través de restos de construcciones, muros de protección caídos, como el Malecón de La Libertad y la erosión sobre las estructuras naturales, lo que causa preocupación de los habitantes y autoridades, sin embargo a pesar de existir estudios y proyectos relacionados con la reconstrucción del Malecón no se han desarrollado ninguna de ellos por razones económicas y políticas. Los procesos costeros en las zonas litorales requieren ser analizados periódicamente, pues el mar actúa constantemente, sin dar tregua.

Para la realización de este estudio, se ha elegido un área que cubre 4 Km, paralelos a la Línea de playa en La Libertad, con la finalidad de investigar el tipo de procesos, el tiempo de ocurrencia de los mismos y la influencia de los principales parámetros oceanográficos en la zona.

La recopilación de la información histórica se la realizó en el Instituto Oceanográfico de la Armada, principalmente, considerando series de datos de hasta 40 años, especialmente los parámetros meteorológicos, estudio y análisis de cartas batimétricas de diferentes años para realizar comparaciones de retroceso o crecimiento de playas, recolección de fotografías en épocas de El Niño 82-83 y 97-98 e investigación de información geológica.

Se realizaron mediciones de campo en 4 estaciones establecidas frente a la costa de La Libertad, para el análisis de las olas rompientes y corrientes litorales y distribución del tamaño de grano a lo largo de la playa, que son los factores que actúan directamente en la costa

Se han analizado los parámetros que intervienen en la morfología de las playas, altura y dirección del oleaje, patrón de corrientes, tipo de sedimentos, vientos, mareas, elevación del nivel del mar. Se ha estudiado las características principales y se han obtenido valores numéricos de transporte de sedimentos.

Para la obtención del Transporte de sedimentos se realizaron cálculos cuantitativos del transporte litoral, de acuerdo a los métodos de Komar, Cerc

y Galvin, determinando el transporte anual para cada uno de los casos y se eligió el método de Komar como el método más idóneo por haber sido aplicado en otros estudios en las costas ecuatorianas, suministrando resultados muy aproximados a la realidad.

El análisis de todas las herramientas con las que se cuenta, permite determinar que los procesos litorales en La Libertad son predominantemente erosivos, lo que se puede notar, tanto en los cálculos numéricos como en las comparaciones que se realizan en las cartas batimétricas y verificaciones físicas de campo.

# **CAPÍTULO 1**

## **1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO**

### **1.1. Ubicación geográfica de la región**

El área en la cual se han realizado los estudios de la presente tesis, corresponde al Cantón La Libertad, parte noroeste de la Península de Santa Elena, importante zona costera de nuestro país, perteneciente a la Provincia del Guayas, figura 1.1.

En la mencionada Península, se encuentran asentados los balnearios más importantes del Ecuador, destacando principalmente Salinas ( $2^{\circ} 12' 09''$  S y  $80^{\circ} 58' 00''$  W), situada en la Punta de Santa Elena y a unos 5 kilómetros al oeste de La Libertad. Estas dos poblaciones representan los dos centros de mayor densidad de habitantes del sector, entre ellas se encuentran, la

población de Santa Rosa, conocida por su intensa actividad pesquera; algunas ciudadelas que se han levantado en los últimos años y demás urbanizaciones en desarrollo. A lo largo de la zona costera de la Península, existen otras poblaciones menores, en cuanto a número de habitantes y extensión se refiere, pero de importancia económica y social, entre ellas están Ballenita, Santa Elena, San Pablo y Monteverde en el extremo norte de la Bahía de Santa Elena y Punta Carnero y Anconcito, entre otras en el extremo sur. En la figura 1.2, se aprecian las poblaciones cercanas a La Libertad

La zona específica, en la que se realizó la investigación de los procesos costeros, comprende la franja costera entre Punta Suche y Punta Chullupe, localizada geográficamente entre las coordenadas  $2^{\circ} 12' 00''$  y  $2^{\circ} 13' 06''$  de latitud sur y  $80^{\circ} 53' 00''$  y  $80^{\circ} 55' 12''$  de longitud oeste, la cual abarca una extensión aproximada de 4.000 m, medidos en la dirección este-oeste y de 2.000 m, en la dirección norte-sur. En la figura 1.3, se pueden apreciar la zona de estudio y las localidades circundantes.

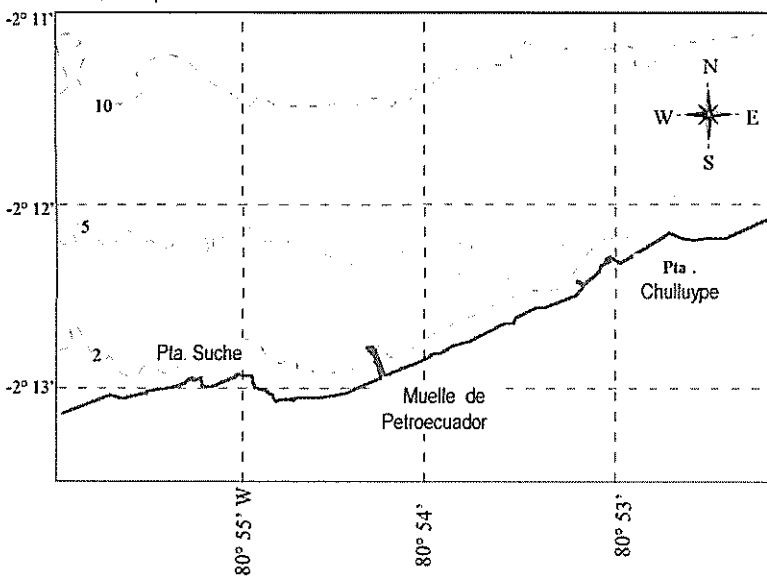
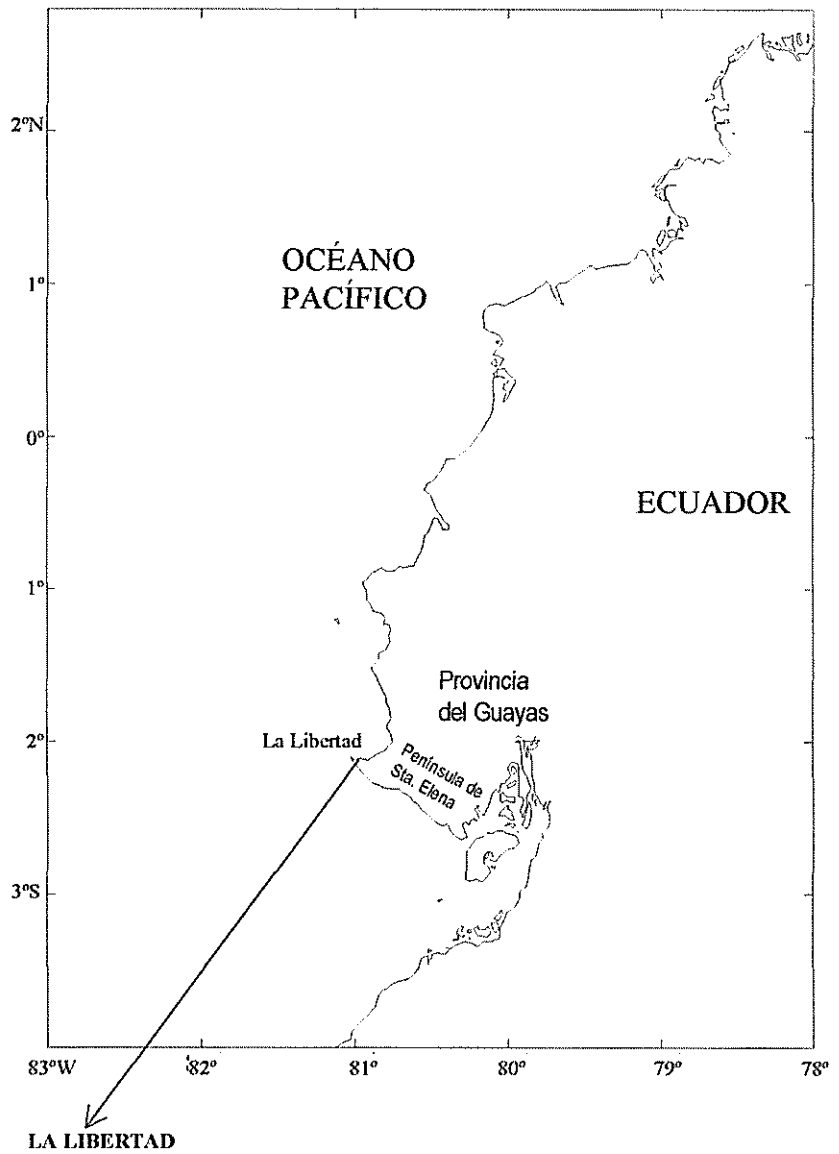


Figura 1.1. Ubicación geográfica de La Libertad

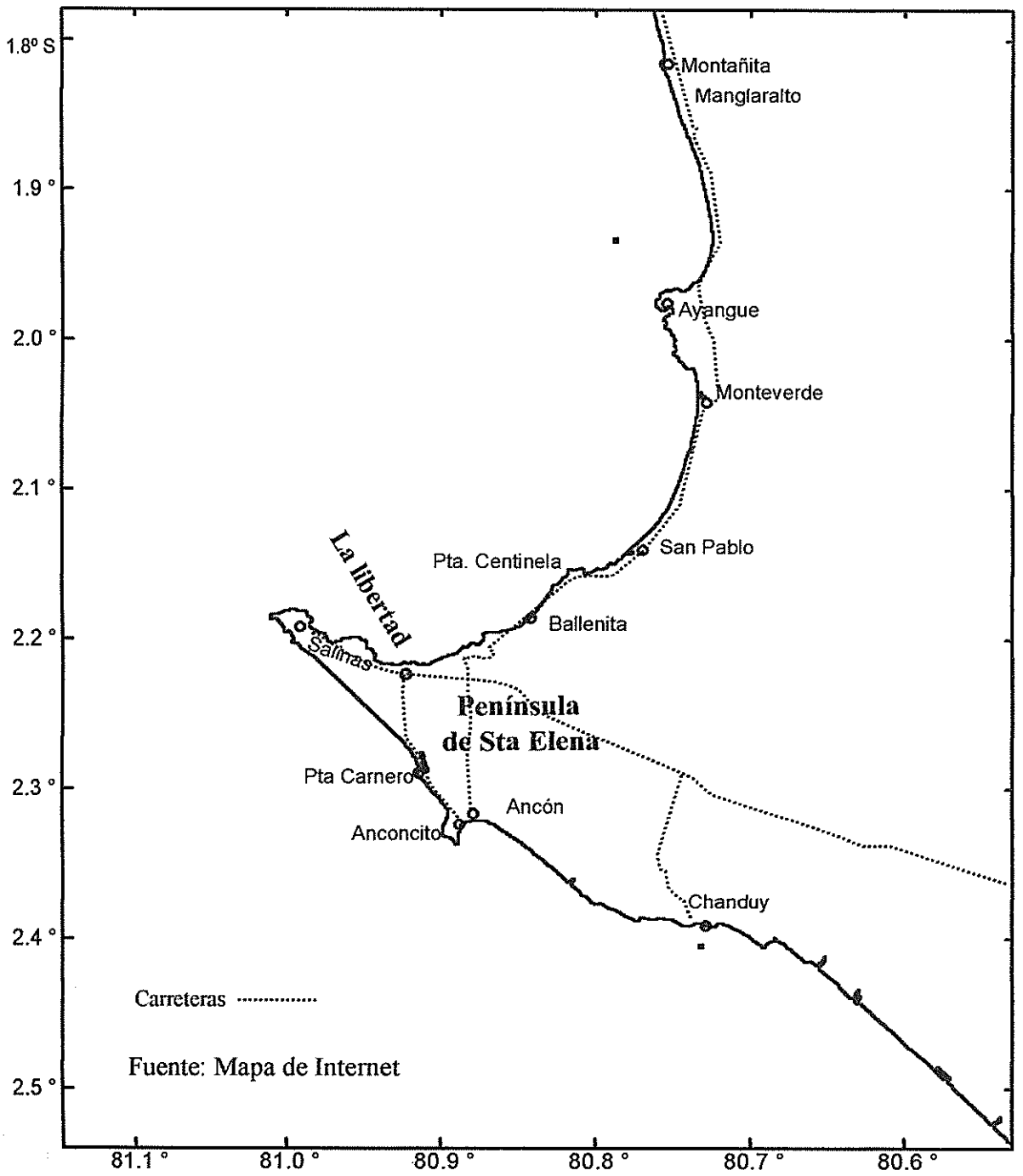


Figura 1.2. Ubicación de poblaciones cercanas a La Libertad

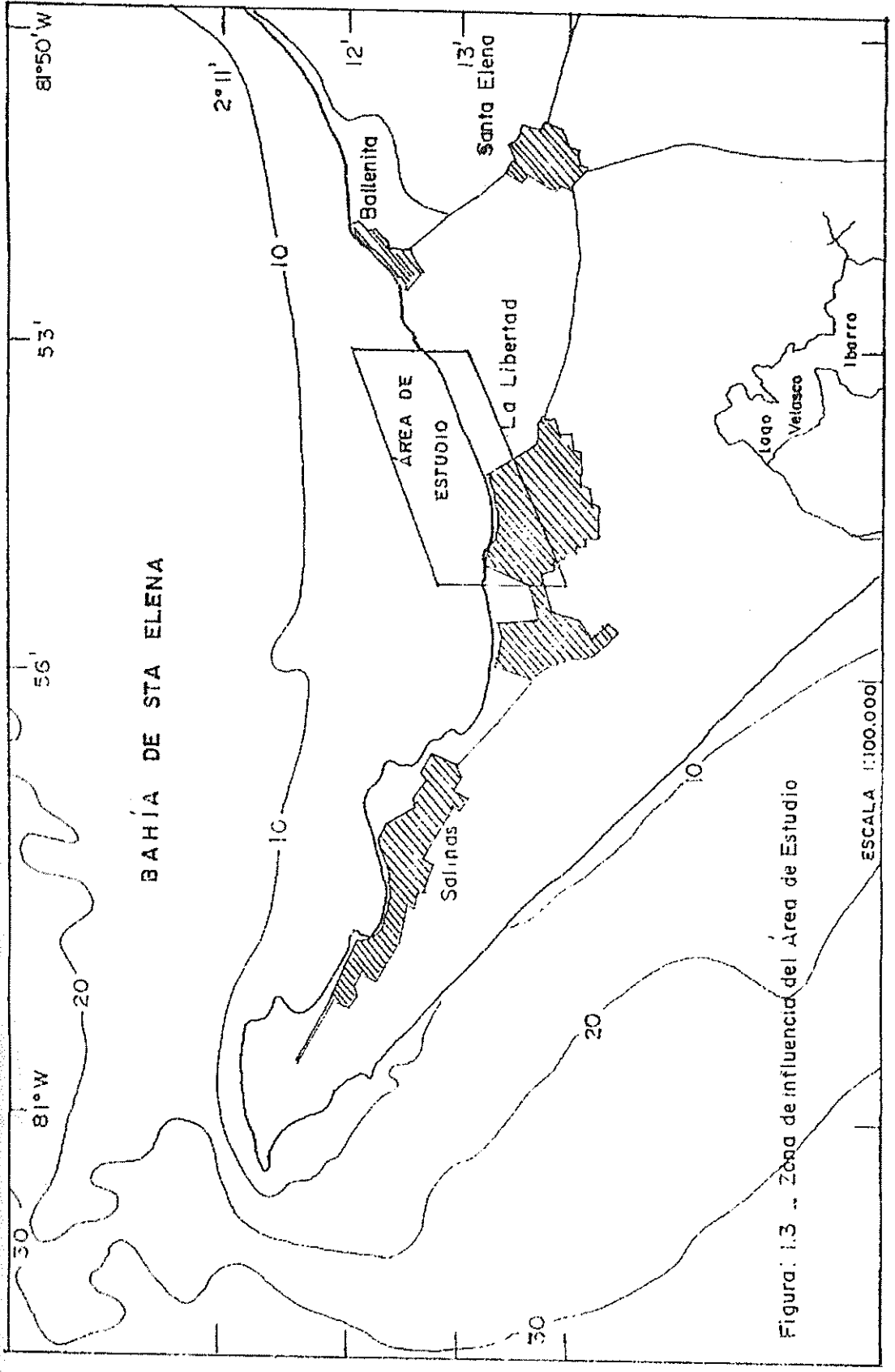


Figura 1.3 - Zona de influencia del Área de Estudio



## 1.2. Descripción Física de la zona

En la zona comprendida entre Ballenita y la Puntilla de Santa Elena, existen aproximadamente 18 Km de extensión, presentando un relieve muy plano y con poca pendiente. Existen salientes rocosas, que se prolongan hacia el mar en varias centenas de metros, lo que da lugar a la formación de playas embolsadas y solo en muy pocos casos, como lo que ocurre en Salinas, se suele observar una incipiente playa. La población de Santa Rosa representa un abrigo natural que es aprovechado por las embarcaciones y astilleros pesqueros artesanales, que no cuentan con facilidades portuarias. (Ayón, 1988).

La llanura existente en el sector favorece el desarrollo de la región peninsular, sin embargo no ha existido una planificación adecuada de la utilización de la tierra, que considere las condiciones ambientales de las regiones para la realización de los servicios comunitarios. En los últimos tiempos, se ha incrementado el interés por un desarrollo sustentable que tome en cuenta aspectos ambientales, ecológicos y turísticos en las diversas regiones del Ecuador y se espera que los gobiernos seccionales se preocupen de llevar adelante planes que maximicen la utilización de los recursos.

Siguiendo la línea de playa y de acuerdo al mapa editado por

Cañadas (1983), al triángulo formado por Santa Elena, Salinas y Anconcito, se lo clasifica como una zona de desierto tropical; la corriente fría de Humboldt y la corriente cálida del Niño, son factores determinantes de la climatología de la región, teniendo como promedio anual una temperatura de 24° C y una precipitación que oscila entre 1.8 mm en época seca y 69.9 mm en época húmeda. Esta zona se compone de pampas y colinas que tienen mucha semejanza con los desiertos o semidesiertos del norte de Perú.

El acceso vial al cantón La Libertad, se lo realiza en la mayoría de los casos por vía terrestre mediante modernas carreteras, que lo comunican, tanto hacia el sur como al norte. En la figura 1.4, se aprecia la red vial que lo enlaza con el resto del país. El viaje al Balneario también se lo puede realizar por vía aérea gracias al aeropuerto ubicado en Salinas a cinco Km de La Libertad, pero solamente mediante el alquiler de taxis aéreos, debido a que no existen itinerarios de vuelos comerciales regulares. La vía marítima es otra alternativa de transportación y es usada principalmente en el transporte de combustible, en el tráfico de embarcaciones pesqueras grandes y pequeñas.

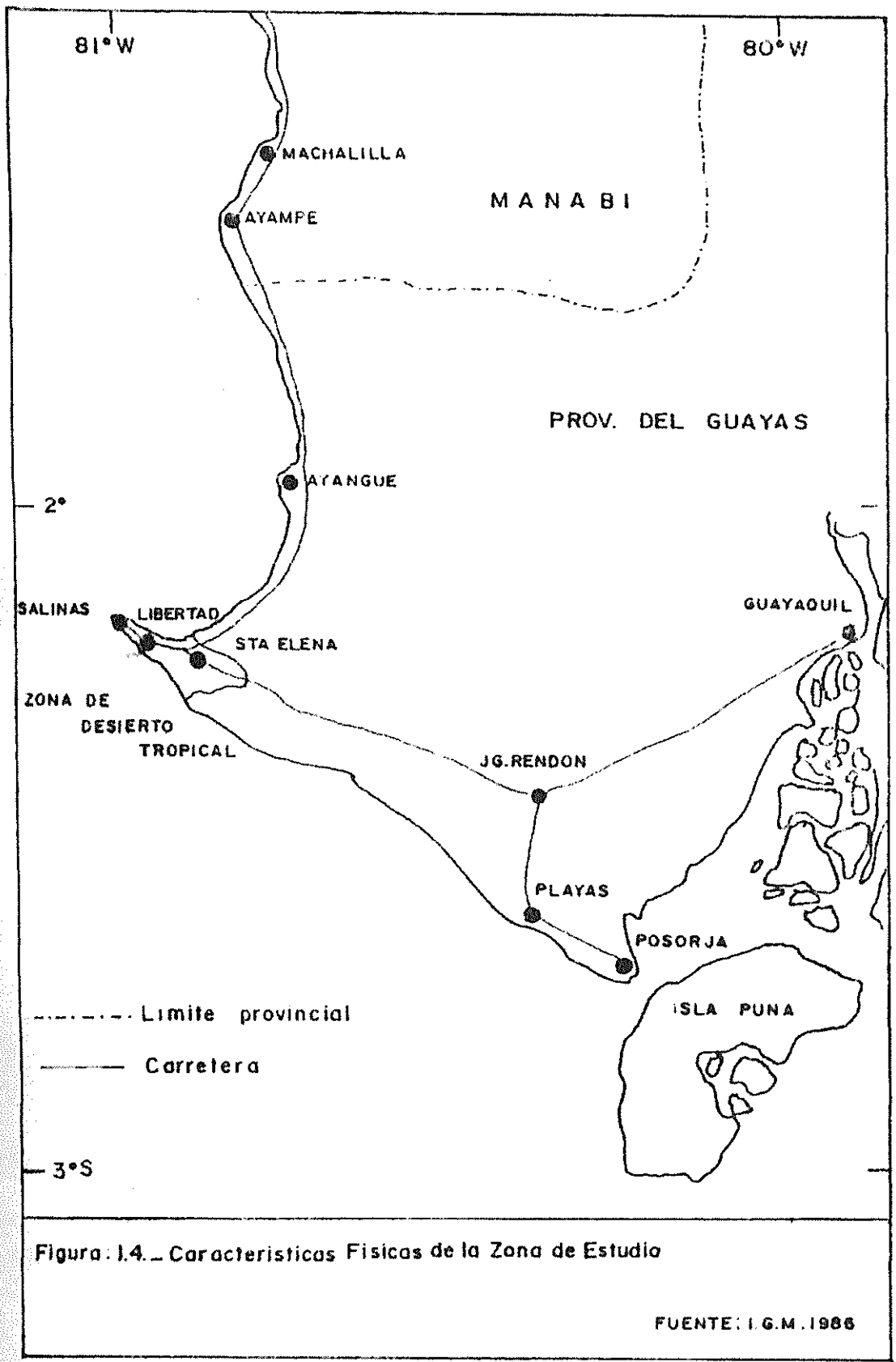


Figura 1.4. Características Físicas de la Zona de Estudio

### **1.3. Aspectos Socioeconómicos**

La Libertad es una zona costera de Península de Santa Elena, en la que existen múltiples usos de su ambiente costero: turismo, industria petroquímica, asentamientos humanos, pesquerías, entre otros. Sin embargo desde hace algunos años la destrucción del malecón, causada por la inclemencia de la naturaleza y la aparente mala calidad de las obras efectuadas, significó también la pérdida de la playa y el alejamiento de los turistas, que han preferido buscar nuevos sitios para visitar y descansar. La playa perdida, el malecón destruido, más el alarmante aumento de la delincuencia, drogadicción y prostitución han alejado a los turistas de este balneario, que fue el más popular y tradicional del país.

Durante la temporada lluviosa y seca, llegaban a esta ciudad aproximadamente 8.000 vacacionistas al mes en busca de paz y recreación. Actualmente, ésto no ocurre por las deficientes condiciones sanitarias, la caótica circulación de vehículos y la invasión de vendedores que se han tomado las principales calles. Moradores del lugar se quejan la situación que ha causado un grave daño a las actividades productivas y comerciales.

El comercio ha disminuido considerablemente en el centro de La Libertad, los consumidores han encontrado nuevos lugares de abastecimiento especialmente se ha desarrollado una intensa

consumidores han encontrado nuevos lugares donde abastecerse. Las autoridades reconocen el problema, por lo que realizan esfuerzos para recuperar el sitio que tuvo esta ciudad, además acusan a la inclemencia del tiempo y a la falta de planificación de las administraciones de Salinas, donde antes pertenecía La Libertad, por la destrucción del malecón, que trajo como lógica consecuencia los malestares mencionados.

Con la finalidad de recuperar la playa se ha planificado la construcción de un espigón rompeolas y un nuevo malecón, los estudios oceanográficos para esta construcción los efectuó INOCAR, cuyos resultados fueron entregados a la Presidencia de la República durante el gobierno del Presidente Sixto Durán Ballén.

De acuerdo a las autoridades de La Libertad, los programas de desarrollo planificados predicen que en los próximos años la situación cambiará y el balneario volverá a ser un gran centro turístico y comercial, convirtiéndose la Península en un gran polo de desarrollo. Entre los principales programas se destacan el trasvase de las aguas del río Daule a la Península de Santa Elena, con fines de desarrollo agrícola, industrial y pesquero, el proyecto hidrocarburífero, mantenimiento constante de la carretera Guayaquil-Salinas. Todas estas obras de importancia indican que la población de la Península y en especial de la zona de la costa

aumentará significativamente a muy corto plazo.

En las dos últimas décadas, las poblaciones costeras vinculadas al turismo han incrementado el número de habitantes. Este es el caso de Playas, Salinas y La Libertad, por ejemplo, Salinas entre 1974 y 1982, creció a una tasa anual del 5.6 %, superior aún al que registró Guayaquil (4.9 %), y según el último censo de población realizado por el INEC, para el año 1996, el número de habitantes en ese lugar, sería de 78.100, tendencia que continuará en crecimiento como consecuencia de los proyectos de riego de CEDEGE.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Revisión de la información existente

#### 2.1.1. Características oceanográficas e hidrográficas

Sobre la zona litoral la fuerza del mar actúa directa y constantemente, entregando gran cantidad de energía, que es disipada al arribar a la costa. Esta energía es el producto de los movimientos del agua de mar, tales como olas, corrientes, mareas, tsunamis, etc., por lo que es necesario conocer los patrones de comportamiento de los parámetros en toda región costera.

La información sobre oleaje y circulación, fue obtenida gracias al

apoyo dado por INOCAR. Los equipos electrónicos de medición, estuvieron instalados a unos 4.500 m del centro del malecón de La Libertad, en el veril de los 13 m, durante noviembre y diciembre de 1994, y febrero y marzo de 1995, en la posición indicada en la figura 2.1.



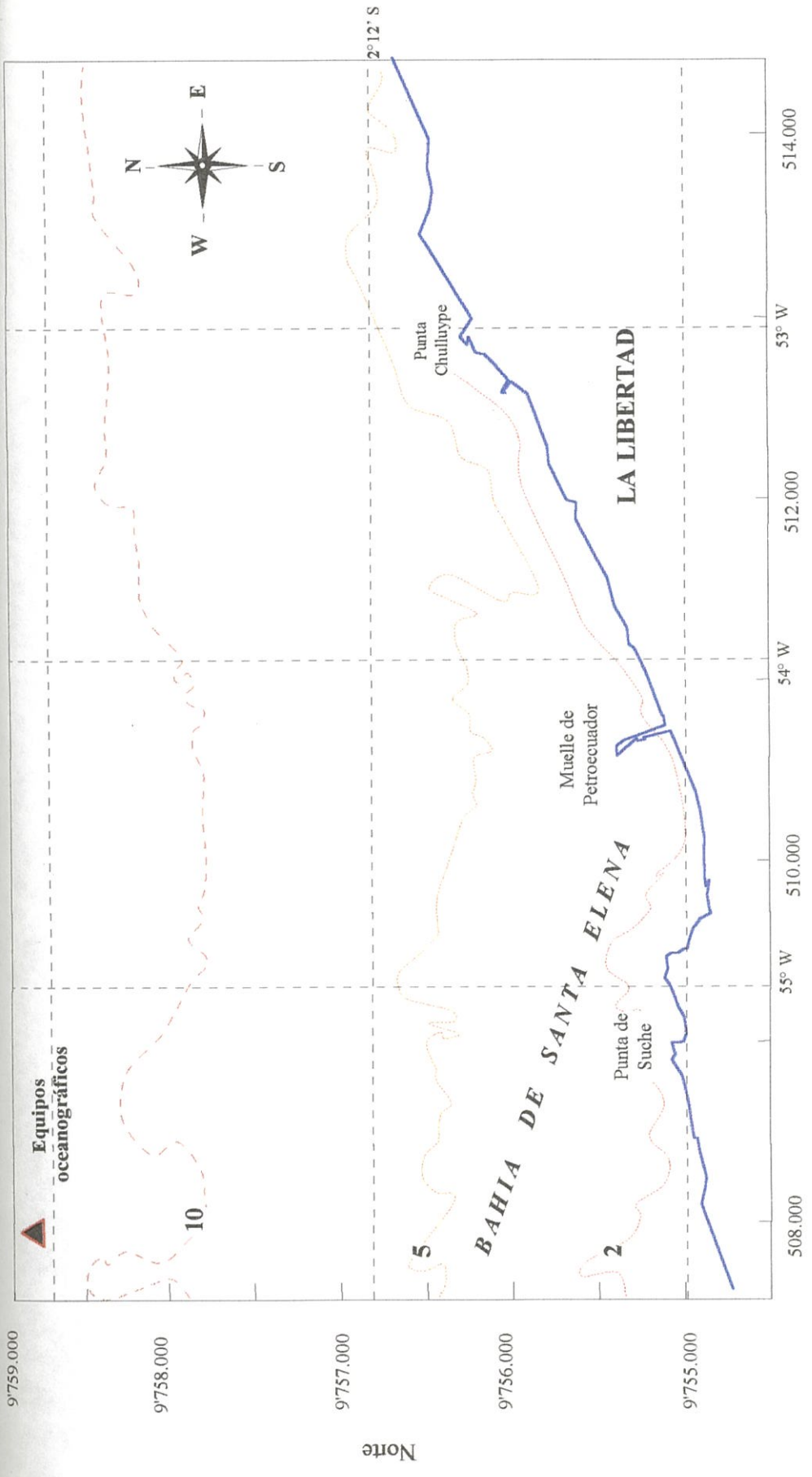


Figura 2.1. Ubicación de los equipos instalados en la medición de olas y corrientes 

Fuente: Carta Batimétrica I.O.A. 10520

### 2.1.1.1. Olas

La acción de las olas sobre la zona litoral es la principal causante de la mayoría de los cambios físicos. Las características del oleaje en un área determinada, dependen, de las condiciones del viento del lugar donde han sido generadas y de las condiciones batimétricas del área en estudio, pues se conoce que las olas pueden ser ocasionadas por vientos lejanos o locales y que en su viaje hacia las zonas costeras modifican sus características al disipar la energía entregada por el viento y al sentir los efectos del cambio de profundidad.

La acción del oleaje, directamente y con gran ímpetu sobre las playas, provoca en mayor o menor medida el movimiento de los sedimentos de un lugar a otro, siendo necesario realizar estudios del oleaje que permitan conocer la distribución combinada de altura, dirección y período a través del tiempo. Las olas que provocan el transporte de sedimentos se las conoce como olas rompientes, las cuales poseen características totalmente diferentes a su estado antes de la ruptura. Estas olas serán analizadas en el próximo capítulo.

Las ondas frente a nuestras costas principalmente son producidas por vientos lejanos y son conocidas como mar de leva. También están presentes las olas de viento generadas por vientos locales.

Los datos de oleaje, proporcionados por INOCAR, corresponden a octubre y noviembre de 1994 como significativos de la estación seca, y a febrero y marzo de 1995, como pertenecientes a la estación húmeda.

Los valores registrados para la época seca corresponden a promedios diarios, ver Fig. 2.2, en donde se observa una altura promedio de 0.41 m; olas un poco más altas, se encontraron durante la época húmeda, siendo su altura media de 0.48 m, figura 2.3.

En el gráfico de ocurrencia de alturas significativas para la estación seca, el rango varía entre 0.20 y 0.98 m. Olas con alturas entre 0.3 y 0.5 m, están presentes con una frecuencia de 73.97 % y olas con alturas mayores a 0.60 m, con menor frecuencia, Fig. 2.4. Para la época húmeda el rango de alturas osciló entre 0.19 y 1.22 m. Las mayores frecuencias ocurrieron entre 0.30 y 0.50 m, 47.45 % de ocurrencia. Ver Fig. 2.5.

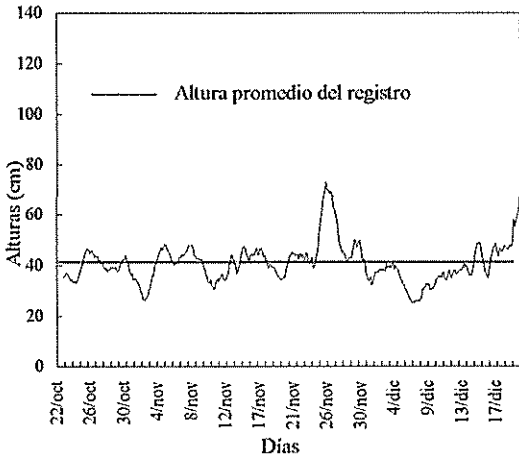


Fig. 2.2. Promedios diarios de alturas de olas en La Libertad (22/10/94 - 20/12/94)

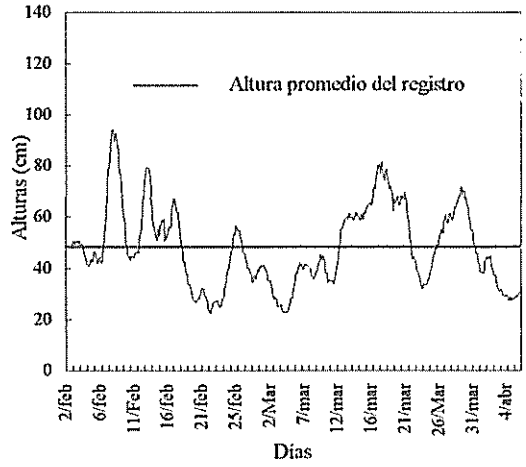


Fig. 2.3. Promedios diarios de altura de olas en La Libertad (02/02/95 - 06/04/95)

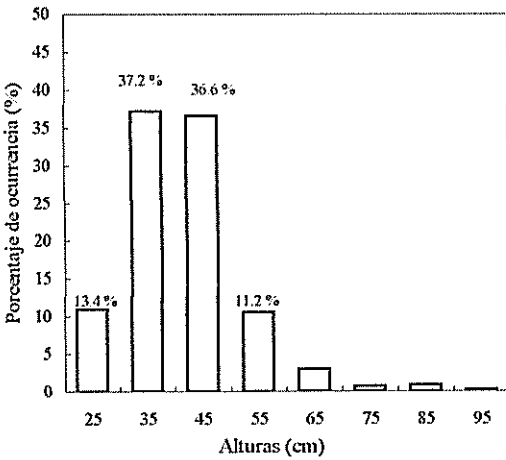


Fig. 2.4. Ocurrencia de alturas de olas en al época seca en La Libertad

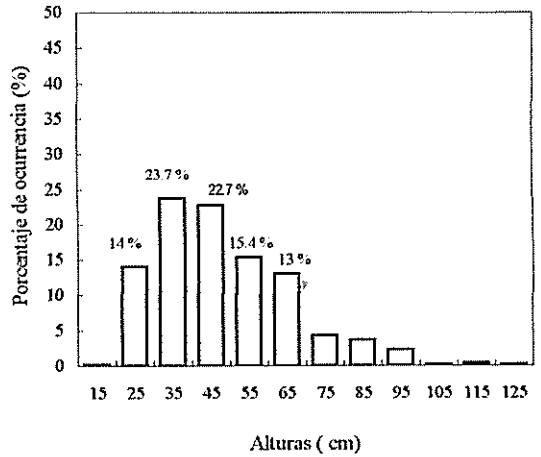


Fig. 2.5. Ocurrencia de alturas en la época húmeda en La Libertad

Fuente: Mediciones realizadas por Inocar (1994-1995)

En cuanto al período de las olas, su comportamiento es diferente, no se observa la misma variabilidad estacional, en ambas estaciones el período osciló entre 8 y 23 s, con un promedio general de 15 s, ver figuras 2.6 y 2.7. En los gráficos de ocurrencia, figuras 2.8 y 2.9, observa que el rango más frecuente está entre 13 y 16.9 s, con una ocurrencia del 74 %; son importantes además períodos entre 11 y 12.9 s y entre 19 y 20.9 s, con ocurrencias promedios de 13.7 % y 10. % respectivamente. Estas olas por su período se clasifican como olas de gravedad, cuya principal fuerza generadora es el viento.

Respecto a la longitud de las ondas para ambas estaciones presentan valores que van desde 110 m hasta 230 m, con un promedio de 155 m. Estas olas por la relación entre la profundidad del sitio de medición y la longitud de onda se las considera como olas que viajan en una zona de transición y se las denomina olas de aguas intermedias, es decir que para casi todo el registro de datos se cumple la relación  $0.5 > h/L > 0.05$ .

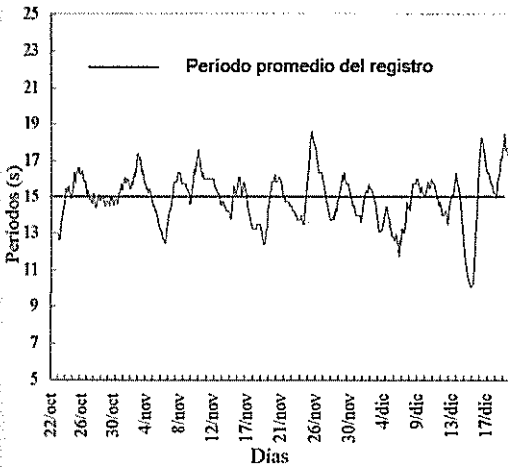


Fig. 2.6 Promedios diarios de periodos de olas en La Libertad (22/10/94 - 20/12/94)

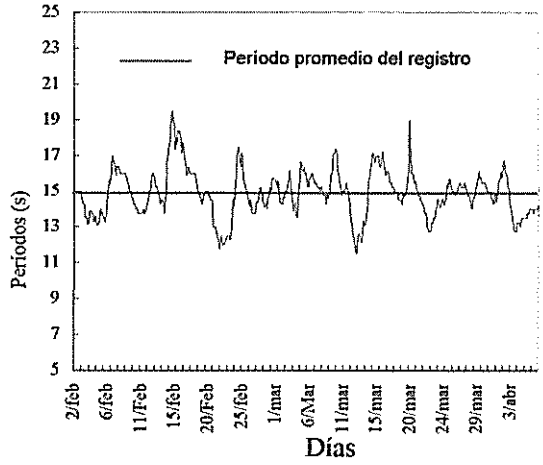


Fig. 2.7.- Promedios diarios de periodos de olas en La Libertad (02/02/95 - 06/04/95)

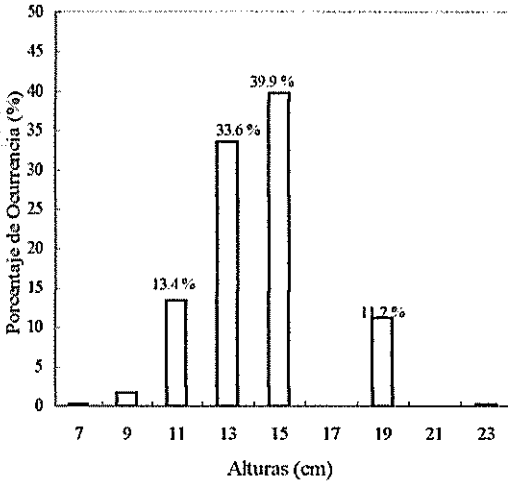


Fig. 2.8. Ocurrencia de periodos de olas en la época seca en La Libertad

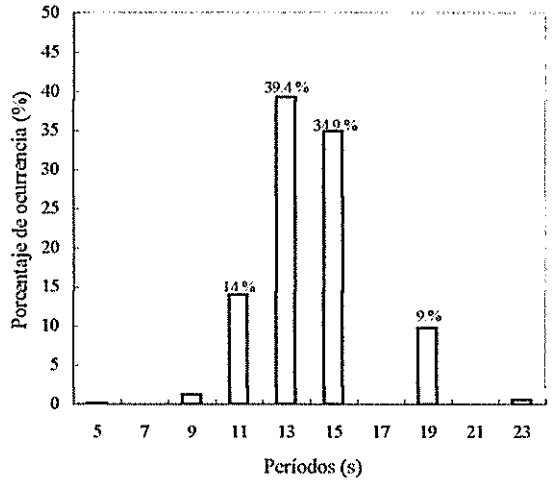


Fig. 2.9. Ocurrencia de periodos de olas en la época húmeda en La Libertad

Fuente: Inocar (1994-1995)

### 2.1.1.2. Corrientes

La información de corrientes que se ha obtenido corresponde a mediciones realizadas con dos métodos distintos: Método Lagrangiano y Método Euleriano.

El Método Lagrangiano, se lo utilizó frente a la zona de La Libertad, a unos 500 m de la Línea de Costa, tanto a nivel superficial, como subsuperficial (3 m), durante las mareas de sicigia y cuadratura en julio y agosto de 1988, octubre de 1994 y marzo de 1995.

La información recopilada sobre la dirección de las corrientes, en julio, agosto y octubre, pertenecientes a la estación seca, indica la influencia de los vientos del SW y W, lo que induce un flujo hacia el NE y E. En las figuras 2.10 y 2.11, se han trazado las trayectorias de las veletas correspondientes a octubre, en ellas se aprecia, que tanto en cuadratura como en sicigia, la dirección de las corrientes superficiales y subsuperficiales, tienden a ir al E durante el flujo y al N y NE en el reflujó, por lo que las mareas también ejercen un papel importante, especialmente en el cambio de dirección diario.

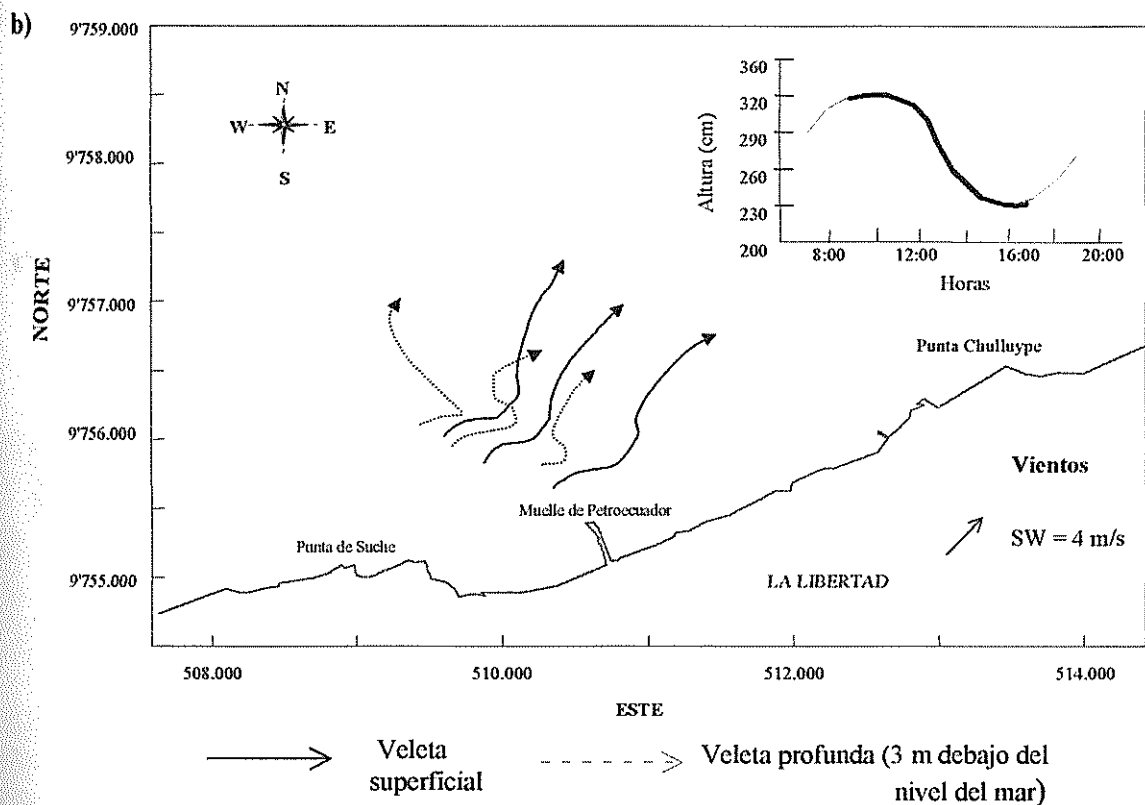
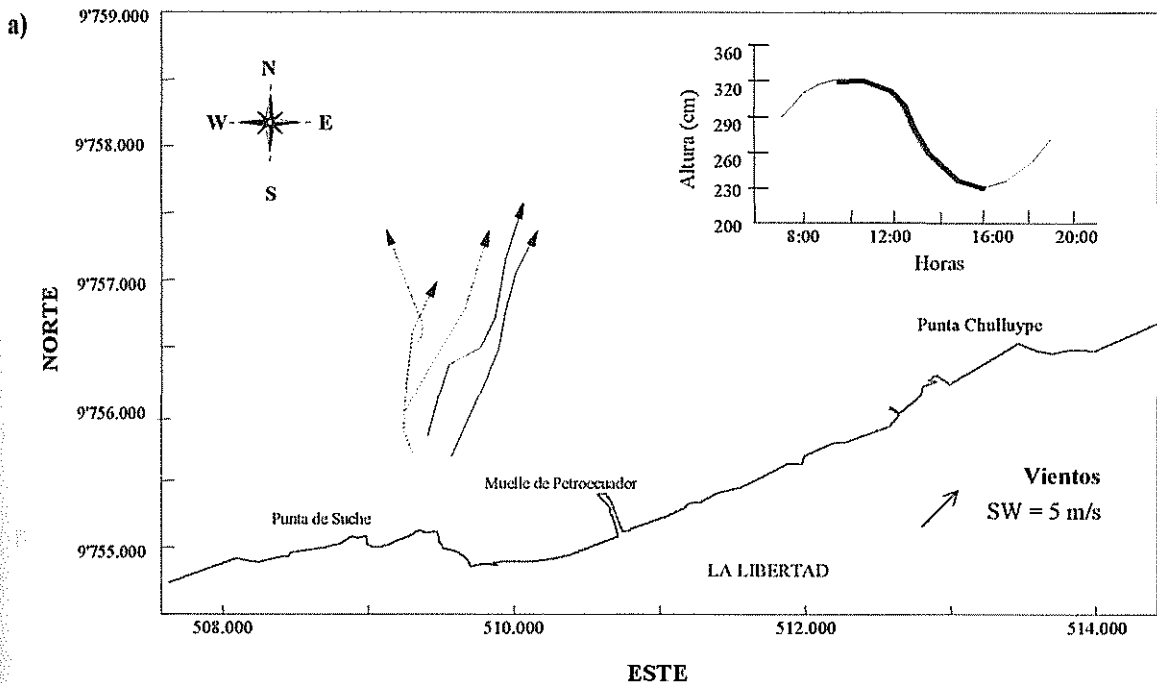
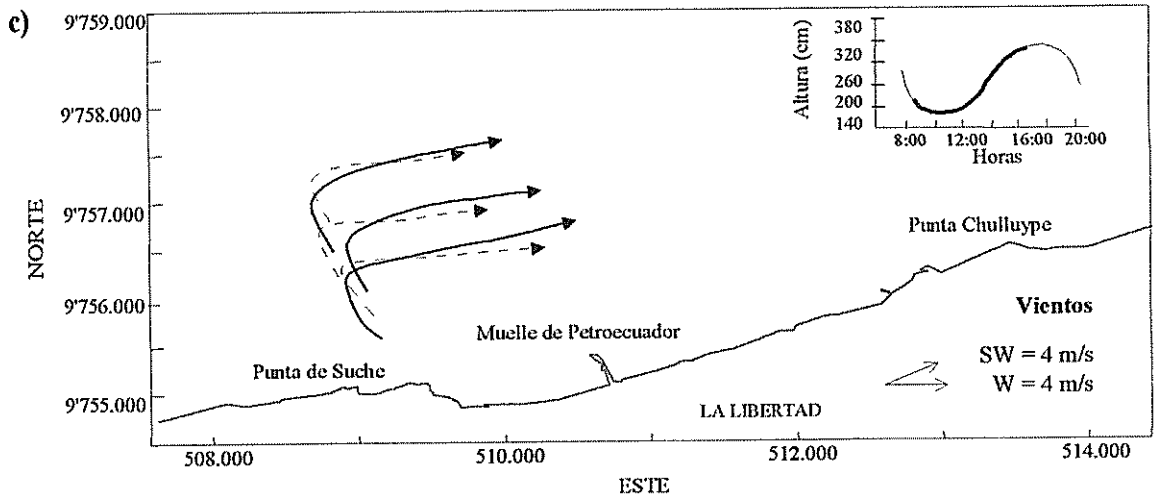
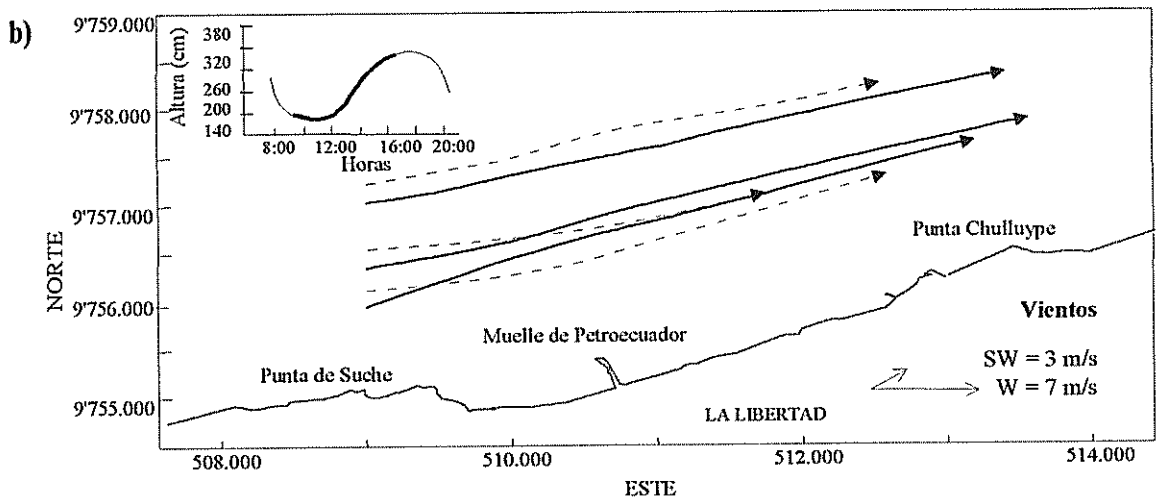
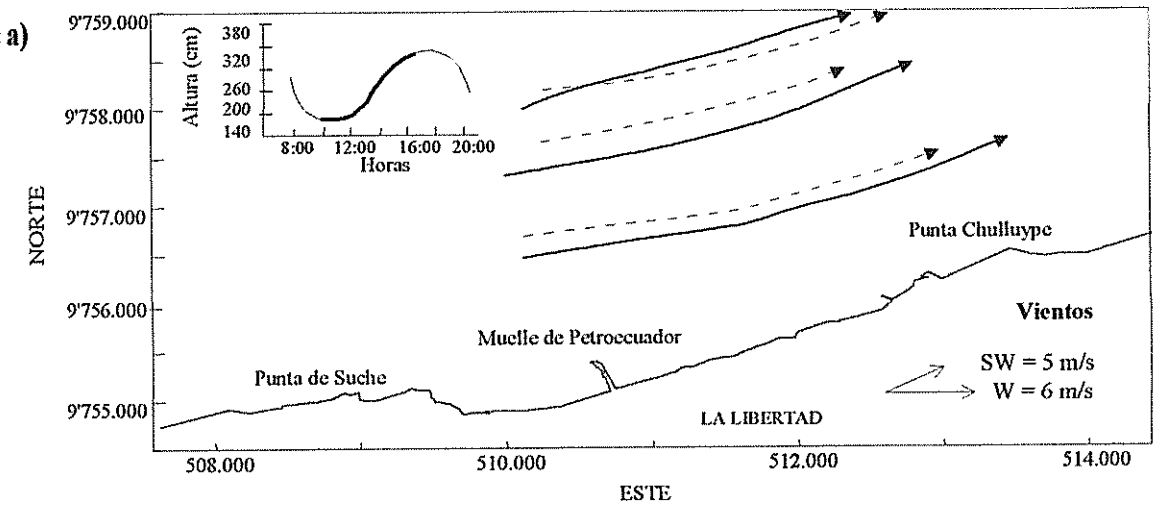


Figura 2.10. Trayectoria seguida por las veletas en la cuadratura de octubre/94. En a) y b), las mediciones fueron realizadas en reflujos.

Fuente: Mediciones realizadas por INOCAR (1994/1995)





→ Veleta superficial      - - - - - → Veleta profunda (3 m debajo del nivel del mar)

Figura 2.11. Trayectoria de las veletas en la sicigia de octubre/94. En a) y b), las mediciones corresponden al flujo, y en c), a las dos fases de marea.

Fuente: Mediciones realizadas por INOCAR (1994/1995)

En la época húmeda la dirección de los flotadores, depende más de las mareas que de los vientos, en el reflujó de la cuadratura se dirigen hacia el W, figuras 2.12 a y 2.12 c, cambiando de dirección hacia el E únicamente las veletas superficiales cuando los vientos del W y NW son de mayor duración, Fig. 2.12 b; durante la sicigia se observa que durante el flujo las veletas se dirigen hacia el E, figura 2.13, mientras que en reflujó tienen cierta tendencia hacia el NW, lo que no puede ser claramente observado porque las mediciones se realizaron en su mayoría en flujo, figura 2.13 b.

En general en las dos estaciones, se observa la existencia de una corriente que se dirige hacia el este y va paralela a la costa, la misma que constituiría un ramal de la Corriente Costanera Ecuatoriana.

En cuanto a las magnitudes de las corrientes medias, los valores de velocidad tanto en superficie como en el nivel subsuperficial, obtenidos por el método Lagrangiano, oscilan entre 0.24 y 0.05 m/s, con valores ligeramente mayores en la época seca, durante la sicigia y a nivel superficial, como podemos observar en la tabla I.

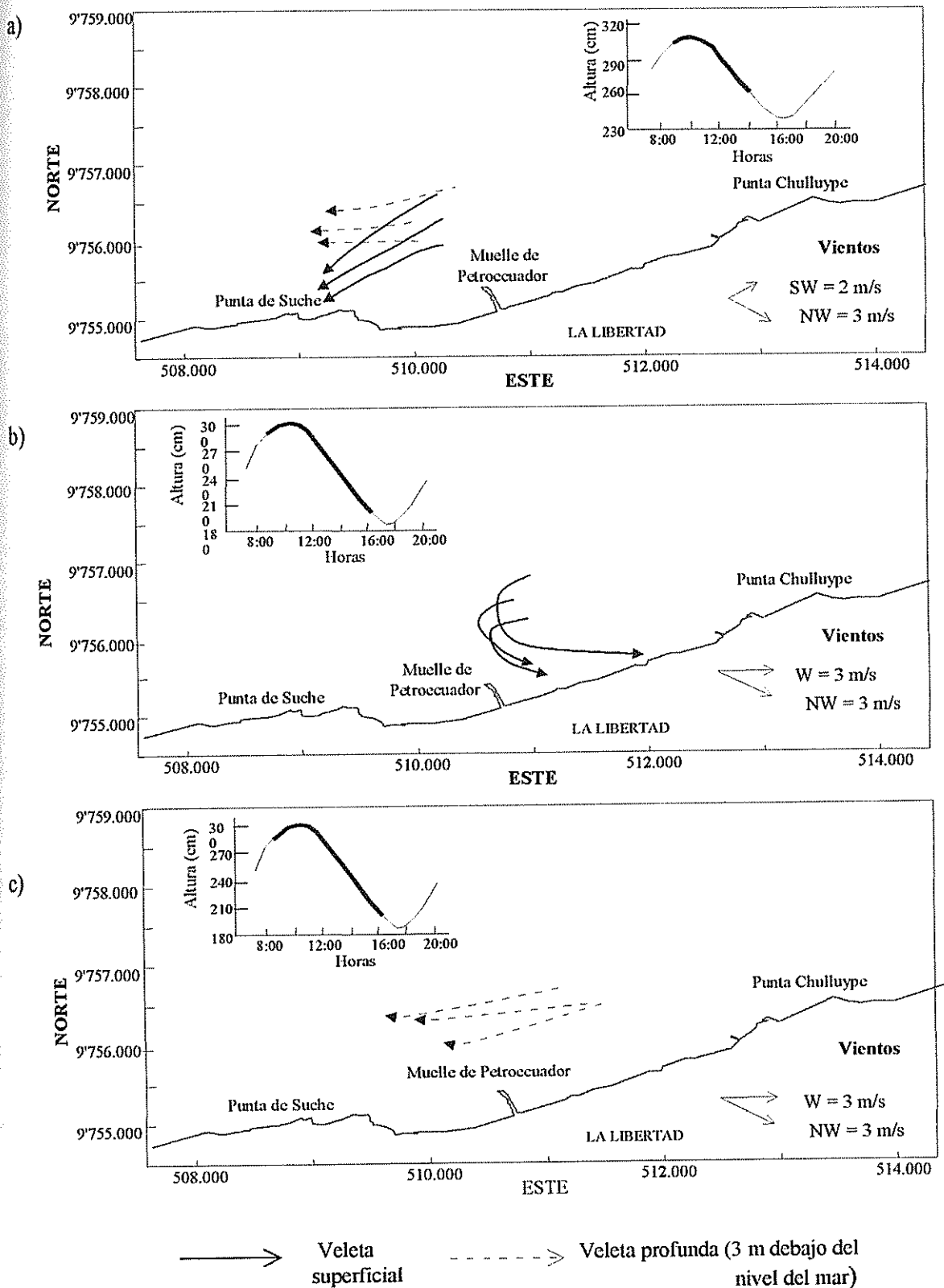
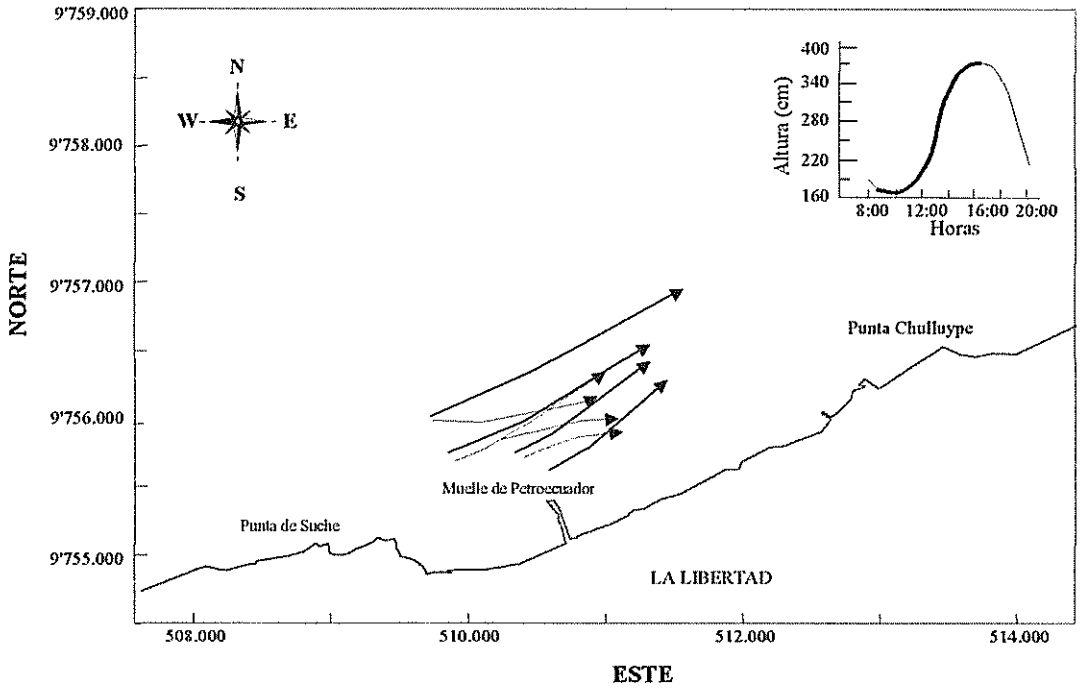


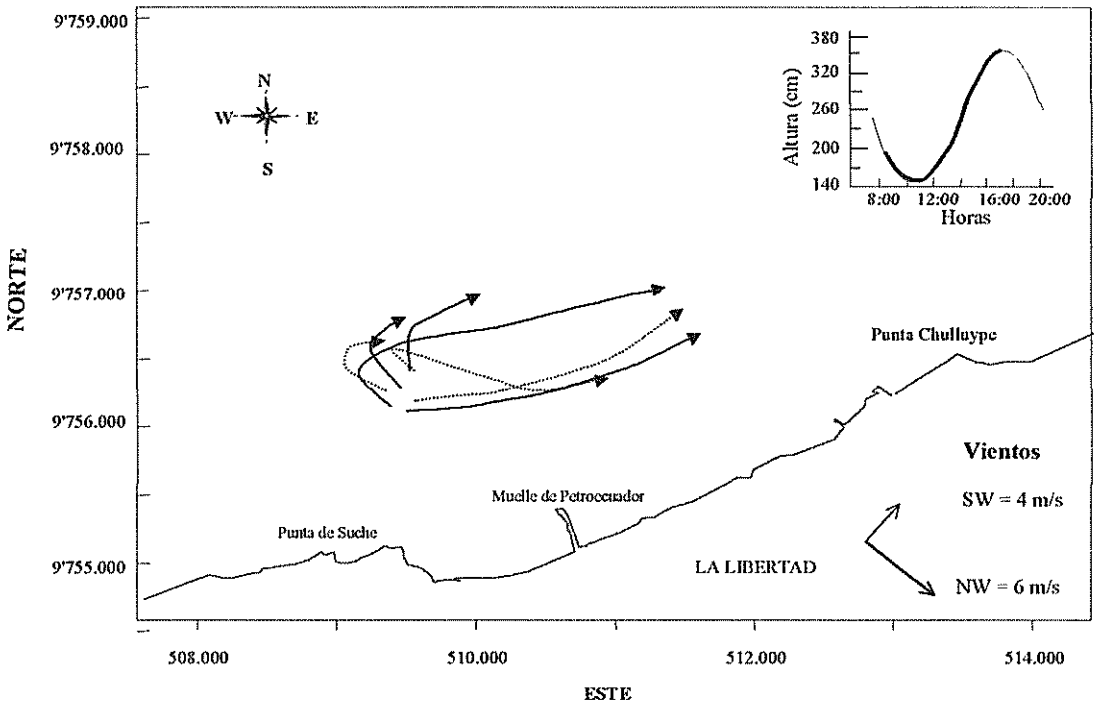
Figura 2.12. Trayectoria de las veletas en la cuadratura de marzo/95. En a) y b), las mediciones corresponden al reflujó, y en c), a las dos fases de marea.

Fuente: Mediciones realizadas por INOCAR (1994/1995)

a)



b)



—————> Veleta superficial  
 - - - - -> Veleta profunda (3 m debajo del nivel del mar)

Figura 2.13. Trayectoria de las veletas en la sicgia de marzo/95. En a) las trayectorias corresponden al flujo y en b), en ambas fases de marea

Fuente: Mediciones realizadas por INOCAR (1994/1995)

**Tabla I.- Velocidades medias de corrientes obtenidas con flotadores en La Libertad, (Inocar 1994-1995)**

Estación seca/1994			
Fecha dd/mm	Fase de Marea	Tipo de flotador	Velocidad media (m/s)
20-23/oct	Sicigia	Superficial	0.09
			0.13
			<b>0.24</b>
			0.16
			0.10
		Profundo	0.10
			0.11
			0.21
			0.13
			0.08
27-30/oct	cuadratura	Superficial	0.16
			0.10
			0.07
			0.09
			0.11
		Profundo	0.15
			0.09
			0.09
			0.07
			0.06
Estación húmeda/1995			
9-11/mar	cuadratura	Superficial	0.07
			0.10
			0.06
		Profundo	0.06
			0.09
			0.06
16-18/mar	sicigia	Superficial	0.14
			0.08
			0.10
		Profundo	0.11
			<b>0.05</b>
	<b>0.09</b>		

Con el método Euleriano se obtuvieron datos de circulación en el veril de los 13m, en 1994 (octubre y noviembre) y 1995 (febrero y marzo).

De acuerdo a los registros obtenidos en la estación seca, las corrientes marinas durante el flujo se dirigen en su mayoría hacia el sureste, este y sur, mientras que en el reflujo, hacia el oeste, suroeste y sur, lo que se muestra en la tabla II y figura 2.14, en forma de porcentajes.

**Tabla II .- Frecuencia de la dirección predominante de las corrientes en el veril de los 13 m, por el método euleriano durante la época seca, La Libertad/1994.**

Dirección	Flujo		Reflujo	
	Número de datos	Frecuencia (%)	Número de datos	Frecuencia (%)
N	0	0	7	0.98
NE	2	0.28	13	1.82
E	161	<b>22.8</b>	44	6.15
SE	347	<b>49.15</b>	79	11.05
S	99	<b>14.02</b>	98	<b>13.71</b>
SW	46	6.52	147	<b>20.56</b>
W	49	6.94	289	<b>40.42</b>
NW	2	0.28	38	5.31
	706	100	715	100

En sicigia se observaron las mayores velocidades, con una máxima de 0.23 m/s en flujo dirigida hacia el sureste, mientras que en cuadratura la velocidad máxima ocurrió en el reflujo y fue de 0.21 m/s con dirección hacia el noroeste.(Tabla III). El promedio de velocidad en tiempo de medición fue de 0.08 m/s.

**Tabla III. Velocidades de las corrientes durante el flujo y reflujo, en el veril de los 13 m, obtenidos por el método euleriano en La Libertad, época seca/1994**

Fase de marea	Fecha dd/mm	Estado de marea	Velocidad Promedio (m/s)	Velocidad máxima (m/s)
Sicigia	19-26/oct.	Flujo	0.12	0.23
		Reflujo	0.06	0.19
Cuadratura	27-02/nov.	Flujo	0.08	0.15
		Reflujo	0.06	0.14
Sicigia	3 – 8/nov.	Flujo	0.08	0.15
		Reflujo	0.05	0.14
Cuadratura	9-17/nov.	Flujo	0.06	0.18
		Reflujo	0.06	0.14
Sicigia	18-25/nov.	Flujo	0.07	0.16
		Reflujo	0.09	0.21
Cuadratura	26-1/dic	Flujo	0.09	0.19
		Reflujo	0.04	0.12
Sicigia	2-8/dic.	Flujo	0.09	0.19
		Reflujo	0.09	0.21
Cuadratura	9-16/dic.	Flujo	0.08	0.18
		Reflujo	0.09	0.21
Sicigia	17-24/dic.	Flujo	0.13	0.23
		Reflujo	0.06	0.12
Velocidad promedio del periodo de medición (m/s)			0.08	

En la estación húmeda, las corrientes tienen un

comportamiento parecido a la estación seca, pues aparece la misma componente Este en el flujo, pero con mayor frecuencia (34,01 %), es importante además, la presencia de una componente noreste (14,17 %). En el reflujo, la componente oeste también está presente y en mayor porcentaje (52,84 %), existe también una componente noroeste con 31,62 % de frecuencia, la cual es muy débil en la época seca. En la tabla IV y figura 2.15 se describen los patrones de comportamiento en términos de frecuencia.

**Tabla IV. Frecuencia de la dirección predominante de las corrientes en el veril de los 13 m, en La Libertad (época húmeda/1995)**

Dirección	FLUJO		REFLUJO	
	Número de datos	Frecuencia (%)	Número de datos	Frecuencia (%)
N	58	7.83	33	4.46
NE	105	<b>14.17</b>	16	2.16
E	252	<b>34.01</b>	15	2.03
SE	80	10.80	11	1.49
S	34	4.59	4	0.54
SW	42	5.67	36	4.86
W	86	11.61	391	<b>52.84</b>
NW	84	11.34	234	<b>31.62</b>
	741	100	740	100

Los valores de corrientes fueron ligeramente mayores a



la época seca; con un máximo de 0.43 m/s de dirección noroeste en la fase de sicigia y con un máximo de 37 m/s en la fase de cuadratura, ambos valores se registraron durante el reflujo, tabla V. El valor promedio durante este período fue de 10 m/s.

**Tabla V. Velocidades de las corrientes durante el flujo y reflujo en el veril de los 13 m. en La Libertad (época húmeda/1995)**

Fase de	Fecha dd/mm	Estado de	Velocidad promedio (m/s)	velocidad máxima (m/s)
Sicigia	2-6/febrero	Flujo	0.09	0.18
		Reflujo	0.09	0.24
Cuadratura	7-14/febrero	Flujo	0.05	0.16
		Reflujo	0.09	0.18
Sicigia	15-21/febrero	Flujo	0.08	0.27
		Reflujo	0.11	0.28
Cuadratura	22-28/febrero	Flujo	0.08	0.21
		Reflujo	0.13	0.37
Sicigia	1-8/marzo	Flujo	0.07	0.20
		Reflujo	0.12	0.28
Cuadratura	9-15/marzo	Flujo	0.06	0.22
		Reflujo	0.11	0.22
Sicigia	16-22/marzo	Flujo	0.11	0.27
		Reflujo	0.17	0.44
Cuadratura	23-29/marzo	Flujo	0.09	0.19
		Reflujo	0.15	0.27
Sicigia	30-6/abril	Flujo	0.09	0.25
		Reflujo	0.10	0.34
Velocidad promedio del período de medición (m/s)			0.10	

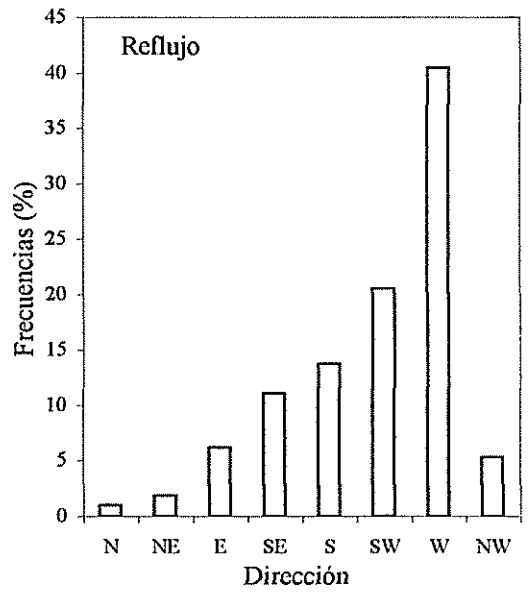
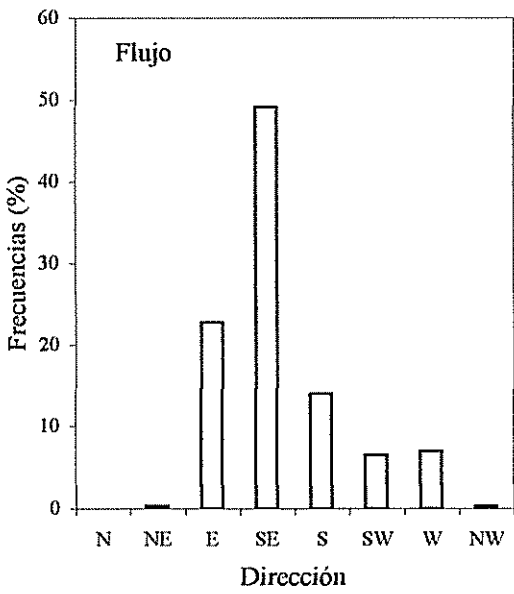


Figura 2.14. Frecuencia de la dirección de las corrientes marinas en la época seca en La Libertad, 1994

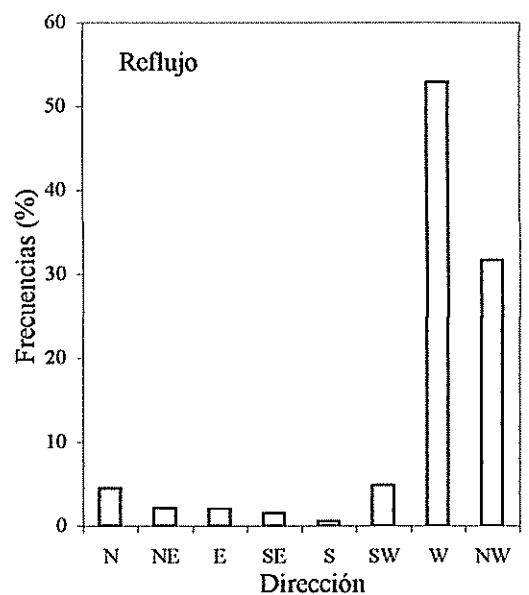
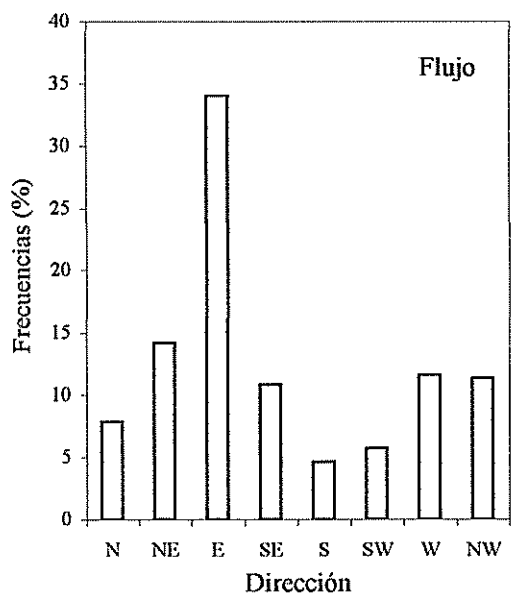


Figura 2.15. Frecuencia de la dirección de las corrientes en la época húmeda en La Libertad, 1995

### 2.1.1.3. Mareas

Las mareas en nuestras costas son de tipo semidiurna, es decir que se caracterizan por presentar 2 pleamares y 2 bajamares sucesivas en un intervalo de tiempo de 24 horas y media aproximadamente, tal como se puede apreciar en la figura 2.16 a, correspondiente a los días 7 y 8 de febrero de 1995. Las amplitudes de las pleamares oscilan entre 2.5 m. durante la sicigia y 1.4 m. en la cuadratura. La figura 2.16 b es una representación característica del tipo de marea en La Libertad y fue obtenida del olígrafo instalado en La Libertad en los meses de febrero y marzo de 1995.

Cuando coinciden las fechas del perigeo lunar con las de sicigias (luna nueva o luna llena), las mareas que se registran son las máximas del año, siendo este fenómeno conocido por los habitantes de las zonas costeras como "aguaje", época caracterizada por el oleaje fuerte que se aproxima a la costa y que por lo general provoca cambios bruscos en la configuración de las playas.

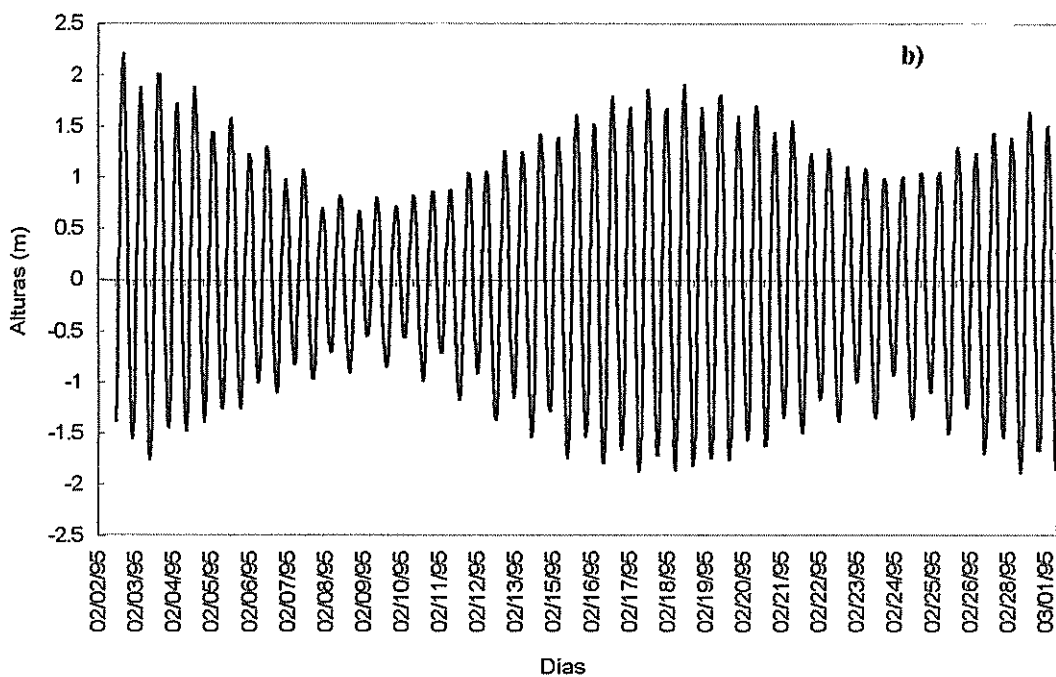
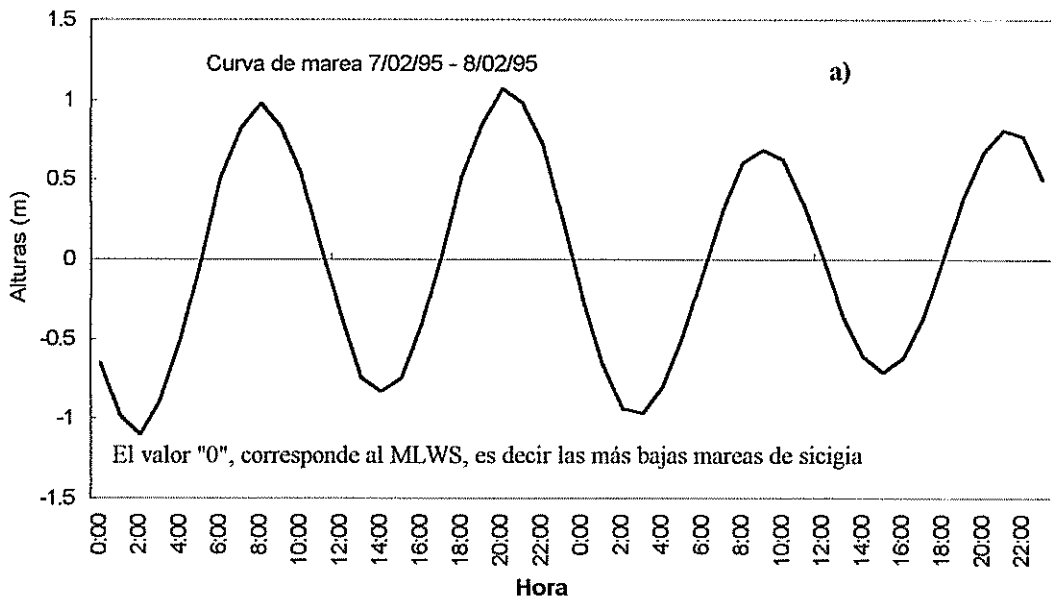


Figura 2.16. Marea en La Libertad a) Registro de 2 días y b) Registro normalizado de 45 días.

Fuente: Olígrafo instalado en La Libertad por INOCAR.

#### 2.1.1.4. Masas de agua

Las masas de agua oceánica presentes frente a las costas del Ecuador, son causadas por la circulación en el Pacífico Tropical Oriental. En la costa norte del Ecuador y frente a ella domina la masa de Agua Superficial Tropical, proveniente de la Cuenca de Panamá con temperaturas superiores a los 25 °C y salinidades menores a 33.5 ppm que son causadas por un exceso de precipitación y descarga fluvial sobre evaporación. Se extiende normalmente desde el ecuador (0°) hasta 13 °N y hacia el oeste hasta 120° W aproximadamente (Enfield, 1975).

Al sur de la latitud 0° hasta la frontera con Perú (5°S) está localizado el extremo oriental de Agua Ecuatorial Superficial, caracterizado por presentar un fuerte gradiente térmico, que incluye a las isotermas de 25 a 19°C ubicadas de norte a sur, con una salinidad de 33.5 ppm. Esta masa es producida por la mezcla entre Agua Tropical Superficial, cálida y poco salina y Agua de la Corriente del Perú o de Humbolt, fría y salina. La

convergencia de estas masas da lugar a la formación de un intenso Frente Ecuatorial que ocupa una banda cuasizonal de cerca de  $3^\circ$  de latitud, cerca del continente se desarrolla entre  $0^\circ$  y  $5^\circ$ S. En la figura 2.17, se ha representado la distribución de las masas de agua en forma general.

En la zona costera de la Bahía de Santa Elena, se ha encontrado Agua Ecuatorial Superficial correspondiente al extremo oriental del Frente Ecuatorial, según indican de INOCAR en 1985.

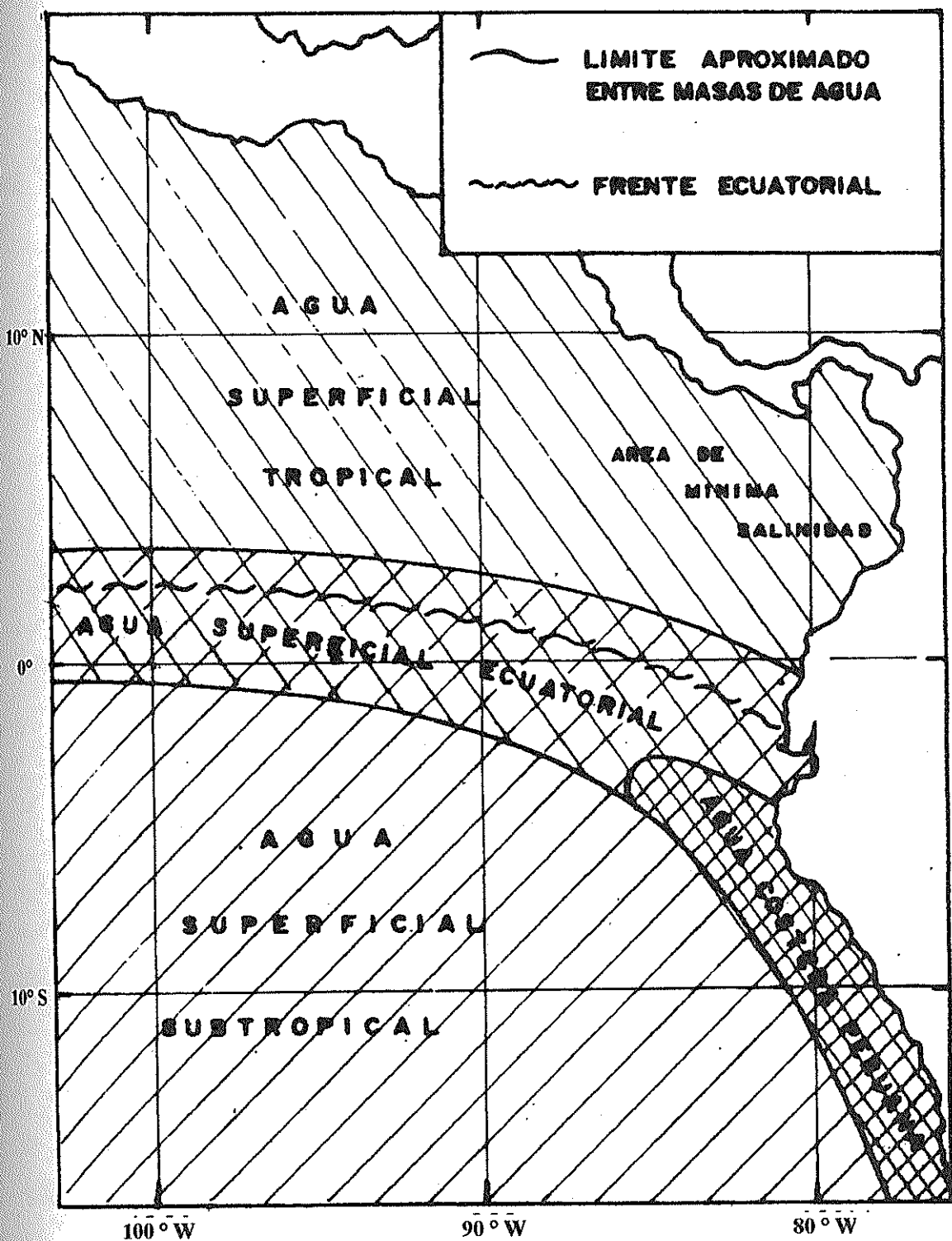


Figura 2.17. Distribución de masas de agua en el Pacífico Tropical Oriental

Fuente: Publicación de Inocar, Masas de Agua en la Zona Ecuatorial, 1982

### 2.1.1.5. Calidad de aguas en La Libertad

Se realizaron investigaciones sobre estudios de calidad de aguas en años anteriores, encontrándose que la CPPS, PNUMA, en 1986, 1987, 1988 y 1989, patrocinó el denominado Plan de Acción para la Protección del Medio Ambiente y Áreas Costeras del Pacífico Sudeste, lo cual involucró a diversas instituciones.

La ESPOL, en 1987, fue encargada de revisar los valores de PH, Oxígeno Disuelto, DBO, Turbiedad y color, basándose en valores permisibles del Ecuador, indicadas en el Reglamento Para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental (RPCCA). Los resultados se encuentran, en el informe de actividades, denominado "Plan de Acción para la Protección del Medio Ambiente y Áreas Costeras del Pacífico Sudeste", y se resume en lo siguiente:

- **PH.-** con valores normales entre 8 y 8.02, siendo el rango permisible para aguas recreativas entre 6.5 y 8.5.
- **OD.-** con valores que indicaron aguas bien



oxigenadas, (5.45 y 5.72mg/l), el rango permisible está entre 4 y 6 mg/l.

- **DBO<sub>5</sub>**- con valores normales (0.25 – 0.5 mg/l), el valor máximo permisible para el consumo humano es de 2 mg/l .
- **Turbiedad y color**.- frente a la Libertad los valores para ambos parámetros fue "0", con incrementos en los sectores con descargas industriales

De acuerdo a las conclusiones presentadas por la ESPOL; la contaminación en la Península de Santa Elena está más relacionada con aportes industriales biodegradables, aunque debe tomarse en cuenta las descargas de petróleo residual de la refinería.

También INOCAR en los años 1986, 1987, 1988, 1989, INOCAR con el apoyo de la CPPS, realizó estudios sobre hidrocarburos del petróleo y oxígeno disuelto a nivel superficial, frente a la Península de Santa Elena, habiendo establecido 10 estaciones de muestreo, ubicando una frente al muelle de Cepe, en La Libertad.

Para el análisis se consideró como valor límite superior permisible de hidrocarburos del petróleo a 10 µg/l,

recomendado por la CPPS y PNUMA en 1989. Al realizar la comparación de los datos obtenidos, en la estación y años mencionados, los máximos valores de hidrocarburos del petróleo, se encontraron en Abril de 1986, figura 2.18 Los valores de hidrocarburos oscilaron entre 0.15, y 9.40  $\mu\text{g/l}$  unidades de u de criseno, correspondientes a enero de 1987 y a abril de 1986 respectivamente.

Conjuntamente INOCAR, realizó muestreo de Oxígeno Disuelto en el nivel superficial, los valores encontrados en los años de medición oscilaron entre 1.6 y 5 mg/l, siendo el valor de 1986 el que no está dentro del rango permisible, pero no fue considerado por ser el único año en que se presentó el mismo, ver figura 2.19.

Posterior al análisis, se concluyó que los valores obtenidos, no resultaban alarmantes, pero si constituían una alerta, pues su presencia era constante en la zona, por lo que se recomendó el monitoreo del área en forma periódica.

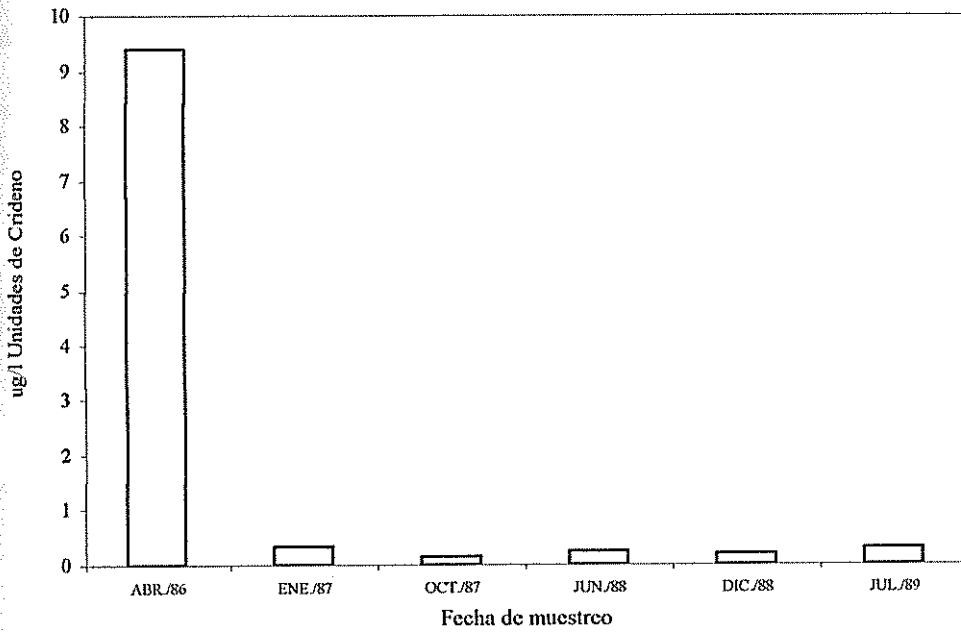


Fig. 2.18. Valores máximos de hidrocarburos disueltos y dispersos, frente a La Libertad

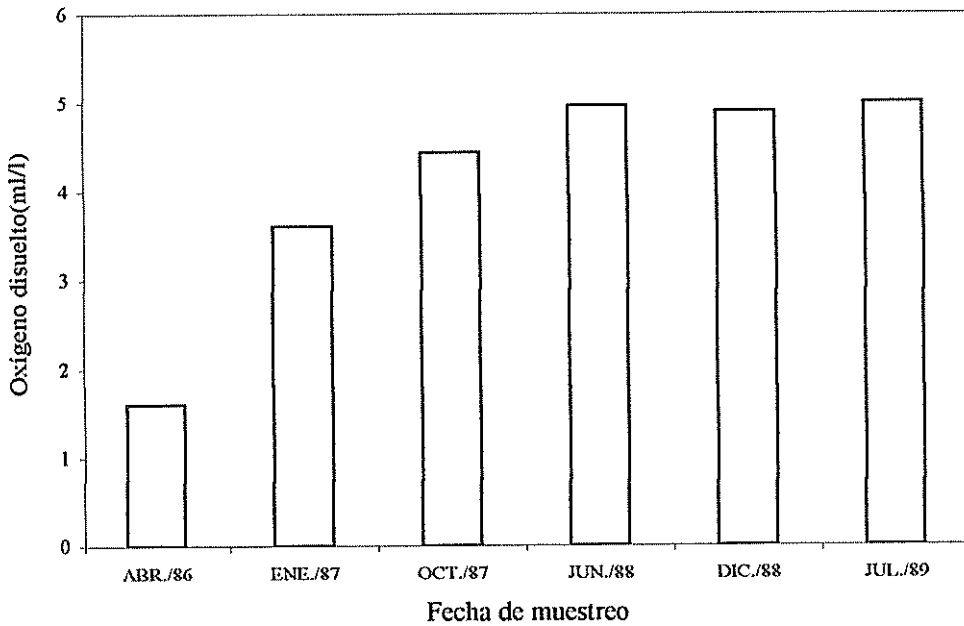


Figura 2.19.- Valores mínimos de oxígeno disuelto, frente a La Libertad

Fuente: Informe de actividades, "Plan de Acción para la Protección del Medio Ambiente y Áreas Costeras del Pacífico Sudeste", 1987

En otro estudio sobre evaluación de metales pesados (Hierro, cobre y zinc) realizado por la Universidad Estatal de Guayaquil, en 1985, se obtuvo lo siguiente:

- Hierro.- En la Bahía de la Península de Santa Elena, la concentración tuvo un rango de va de 1 a 8.0 ug/l, siendo la parte central la de concentración mayor, figura 2.20a.
- Cobre.- La concentración oscila entre 0.2 y 1.2 ug/l. Las concentraciones se presentan homogéneas, siendo las estaciones de mayor concentración aquellas alejadas de la población, figura 2.20b.
- Zinc.- Los valores van desde 1.5 a 5.5 ug/l, con las mayores concentraciones en la zona próxima a la costa, figura 2.20c.

De este estudio realizado por la Universidad Estatal, establecen que no se puede llegar a una conclusión definitiva, debido a que la concentración de los metales pesados en los sistemas estuarios, costeros y eventualmente en los océanos, es difícil evaluar, pues las concentraciones naturales de estos elementos en aguas no contaminadas son variables.

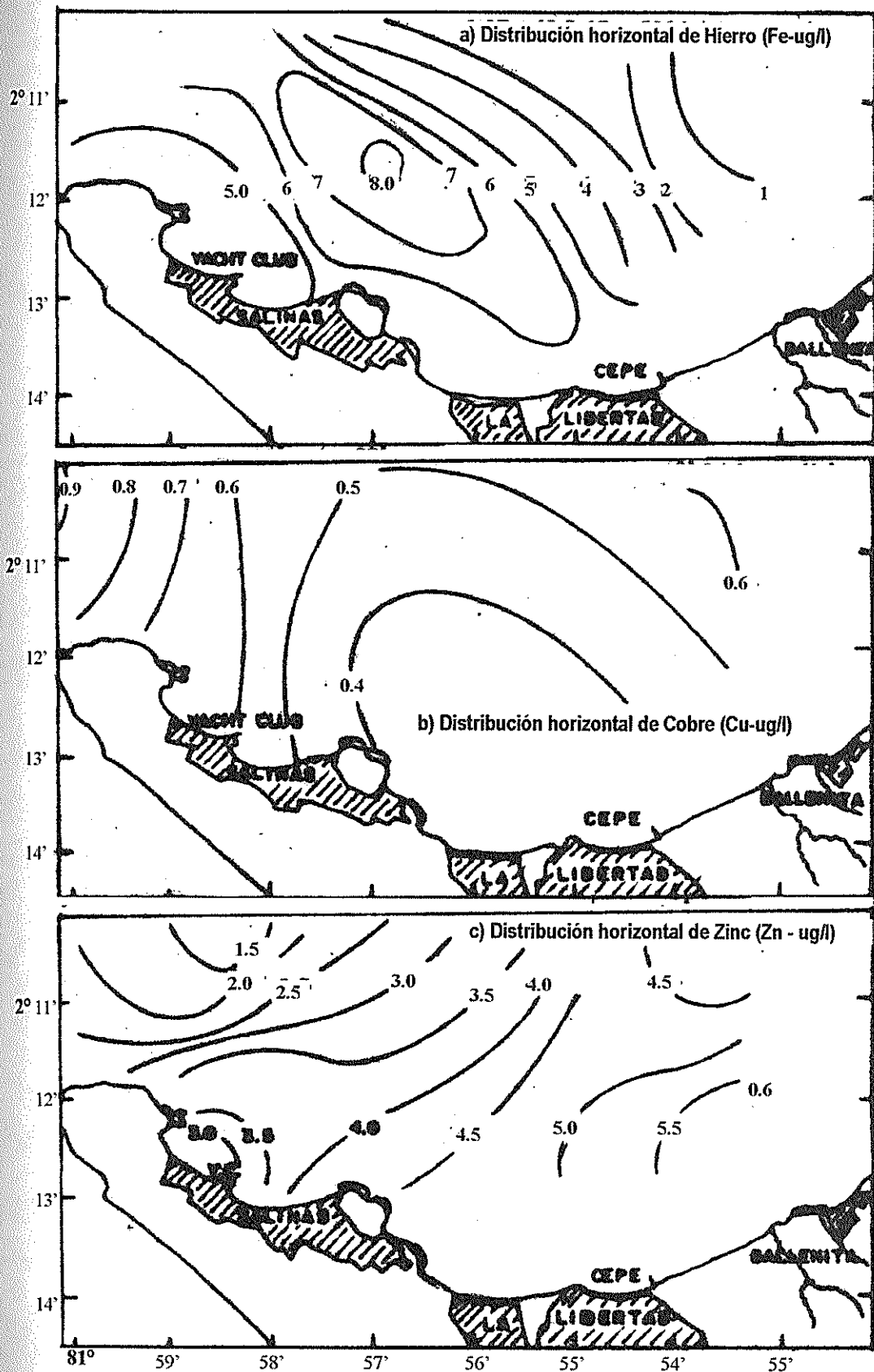


Figura 2.20. Presencia de metales pesados en la Península de Santa Elena  
Fuente Universidad de Guayaquil, 1985

## 2.1.2. Condiciones Geológicas

### 2.1.2.1. Geomorfología

Los acantilados en la costa de La Libertad, son muy inestables como lo indican los derrumbes de residencias y otras construcciones costeras ocurridas por erosión marina o por deslizamientos.

Siendo Punta Suche el límite oeste del área de estudios geológicos, se establece que el perfil costero se inicia con acantilados de 20m de altura máxima, los cuales decrecen continuamente hacia el este, en una longitud aproximada de 900m; desde donde existe una morfología plana, desarrollándose una playa de 2200 m de longitud, comenzando nuevamente los acantilados, que terminan en Punta Chullupe, con 256m de playa intercalada. Entre estas salientes rocosas, se forman algunas playas de bolsillo (Ayón, 1988).

En general, la costa posee características irregulares con acantilados bajos, verticales y con materiales de playa emergidos, con un relieve plano y de poca inclinación. Las salientes rocosas forman playas embol-

sadas respaldadas por los acantilados. El oleaje fuerte presente en condiciones extremas, como la ocurrencia de un evento El Niño, ha colapsado acantilados y provocado severa erosión.

#### **2.1.2.2. Sedimentos de fondo**

Los sedimentos en la zona costera se distribuyen debido a la acción las corrientes y de las olas, observándose que cuanto menor es el diámetro del material, más fácilmente se pone en suspensión y es transportado por las corrientes litorales alejándose de su fuente de origen. Sobre las protuberancias de las costas generalmente se observan tamaños grandes de sedimento debido a la turbulencia ocasionada por la concentración de la energía del oleaje.

El análisis granulométrico del sedimento a lo largo de la costa en las estaciones localizadas desde Punta Suche hasta Punta Chullupe, (Soledispa y Santana, 1995), muestran los parámetros estadísticos más representativos y el tipo de textura del material, los que se presentan en la tabla 6, siguiendo la nomenclatura sugerida por Shepard (1954), basada en el diagrama triangular

que relaciona proporciones de tres grupos, arena, limo y arcilla y que también puede aplicarse a grava, arena y limo, dependiendo del grano con el que se trabaje. La nomenclatura según los porcentajes de los distintos componentes cuyos límites son 0, 25, 75 y 100 %, se ilustra en la figura 2.21.

En la fig. 2.22 se observa, que el material encontrado es principalmente arenoso, variando su tamaño de sedimento arenoso a limo-arenoso:

- Arena muy gruesa se la encontró en una estación ubicada hacia el este de la Punta de Suche que proviene seguramente de la erosión del acantilado.
- Arena de grano fino a muy fino se ubicó en la parte norte de la zona de estudio situada de este a oeste y en una franja paralela a la línea de costa.
- Los sedimentos areno-limosos están localizados en la parte central, en una franja paralela a la Línea de costa ubicada entre las dos áreas de arenas finas.
- Existe también, una fracción fina (limo-arenosa), encontrada en la parte noreste del área de muestreo, cuya presencia se podría explicar debido a la



socavación de las formaciones rocosas costeras inestables o como provenientes del transporte por corrientes litorales, desde lugares alejados.

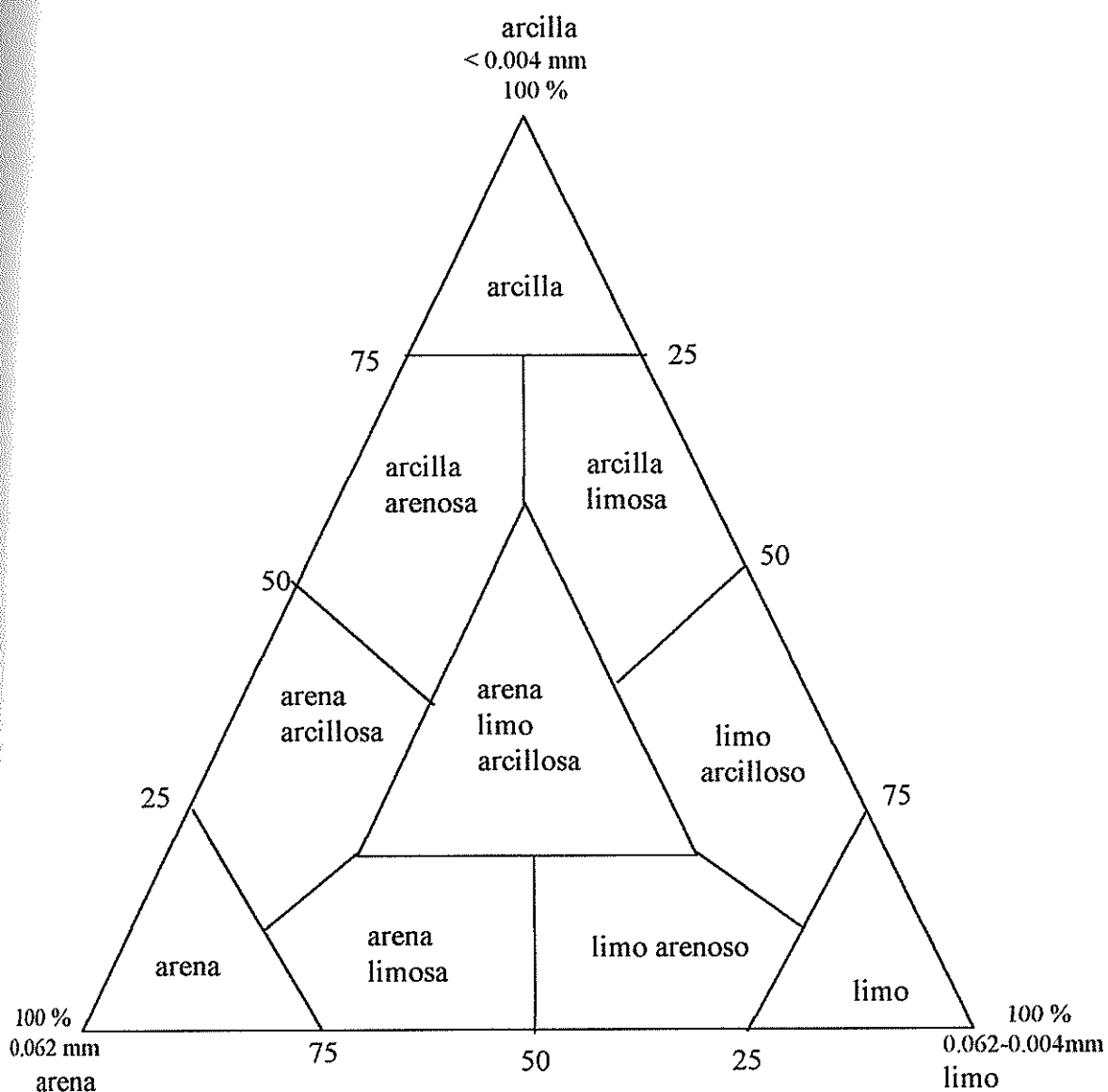


Figura 2.21. Clasificación textural de los sedimentos según Shepard, 1954.

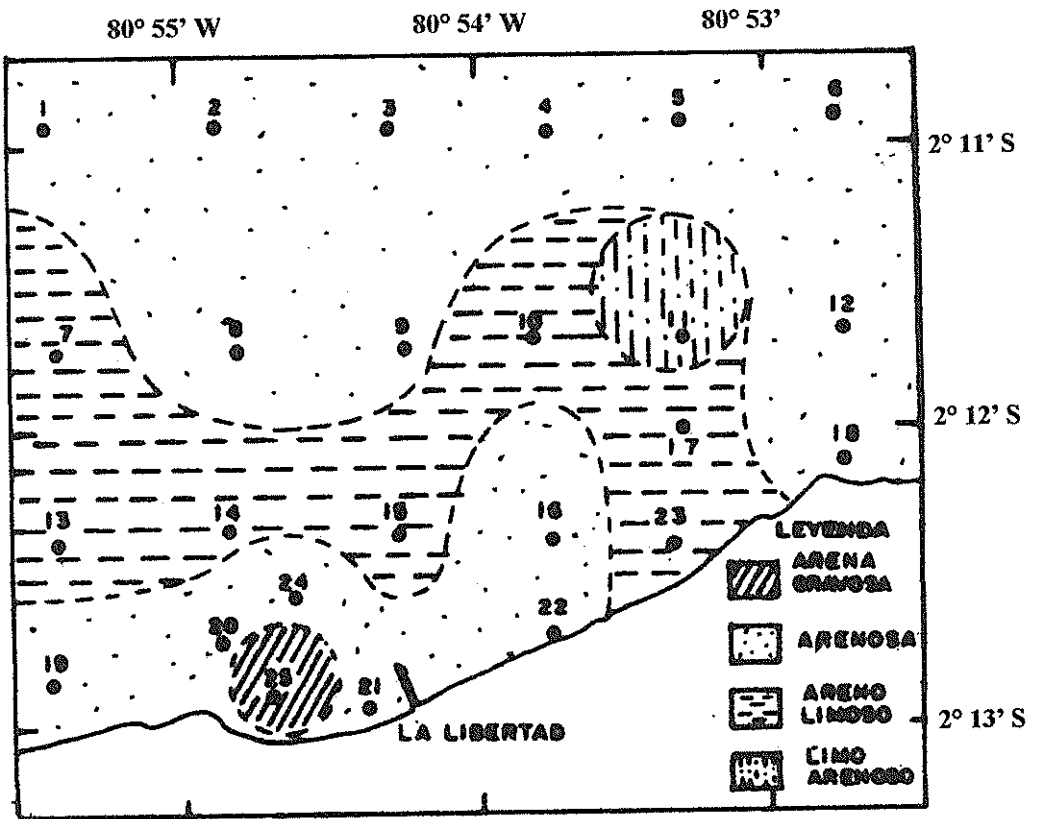


Figura 2.22. Distribución de Sedimentos en la zona de estudio

**TABLA VI. Clasificación textural de los sedimentos por su diámetro medio, de acuerdo a Shepard, 1954.**

Estación	Diámetro medio (mm)	Textura
1	0.151	Arenosa
2	0.164	Arenosa
3	0.187	Arenosa
4	0.167	Arenosa
5	0.441	Arenosa
6	0.127	Arenosa
7	0.134	Arena - Limosa
8	0.129	Arenosa
9	0.111	Arenosa
10	0.107	Arena - Limosa
11	0.065	Limo Arenosa
12	0.108	Arenosa
13	0.070	Arena - Limosa
14	0.071	Arena - Limosa
15	0.069	Arena - Limosa
16	0.097	Arenosa
17	0.074	Arena - Limosa
18	0.094	Arenosa
19	0.172	Arenosa
20	0.182	Arenosa
21	0.142	Arenosa
22	0.096	Arenosa
23	0.071	Arena - Limosa
24	0.131	Arenosa
25	0.457	Arena - Grava

Fuente: Estudios Geológicos en La Libertad (INOCAR/1995)

### **2.1.3. Meteorología e Hidrología**

El clima en la costa ecuatoriana, está influenciado por los cambios producidos en el océano y por el movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Se observan dos épocas bien definidas, la época de lluvias normales, (época húmeda), entre diciembre y mayo y la época de ausencia de lluvias, (época seca), de junio a noviembre. Estas condiciones están dadas por la interacción océano-atmósfera y las variaciones en la misma provocan cambios en el clima. Los principales factores meteorológicos involucrados en la climatología costera son los vientos, precipitación, temperatura del aire y temperatura del mar.

#### **2.1.3.1. Vientos**

De las observaciones en la estación meteorológica de INOCAR en La Libertad, a 10 m sobre el nivel del mar, se deduce los vientos predominantes durante casi todo el año son del SW y W, con una intensidad promedio de 3.8 m/s figura 2.23, (Rosa de los Vientos).

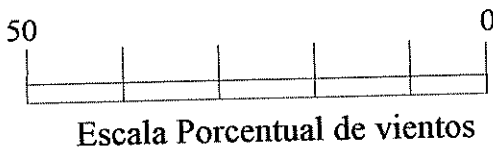
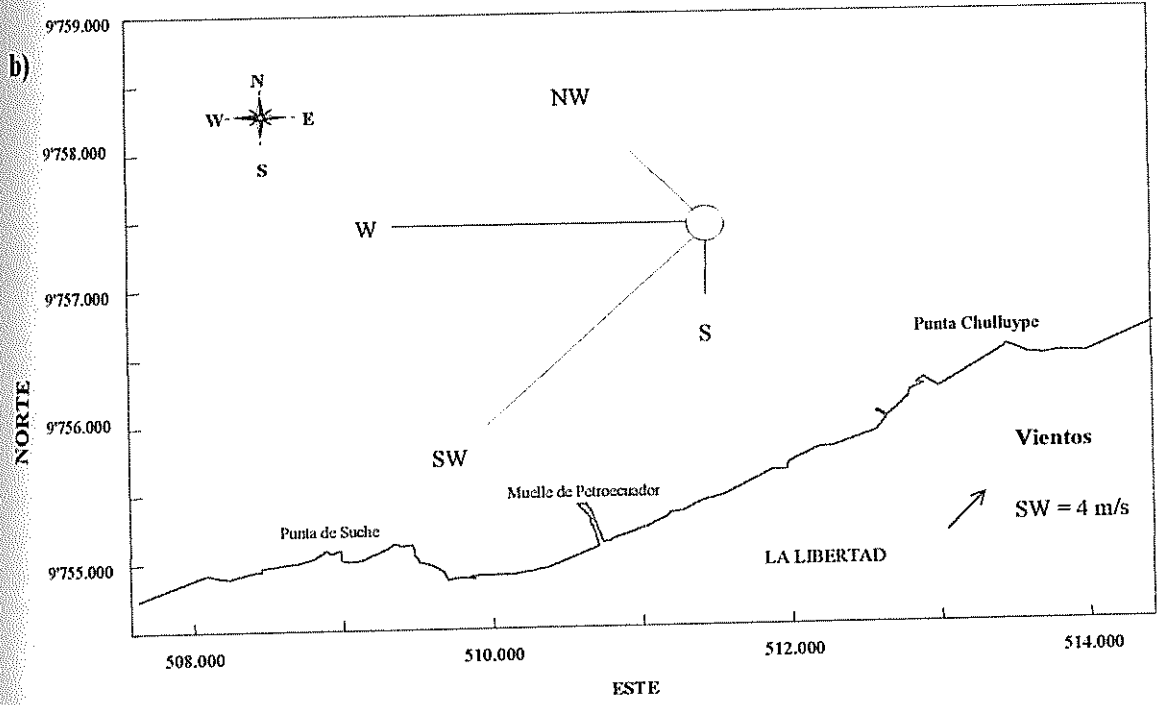
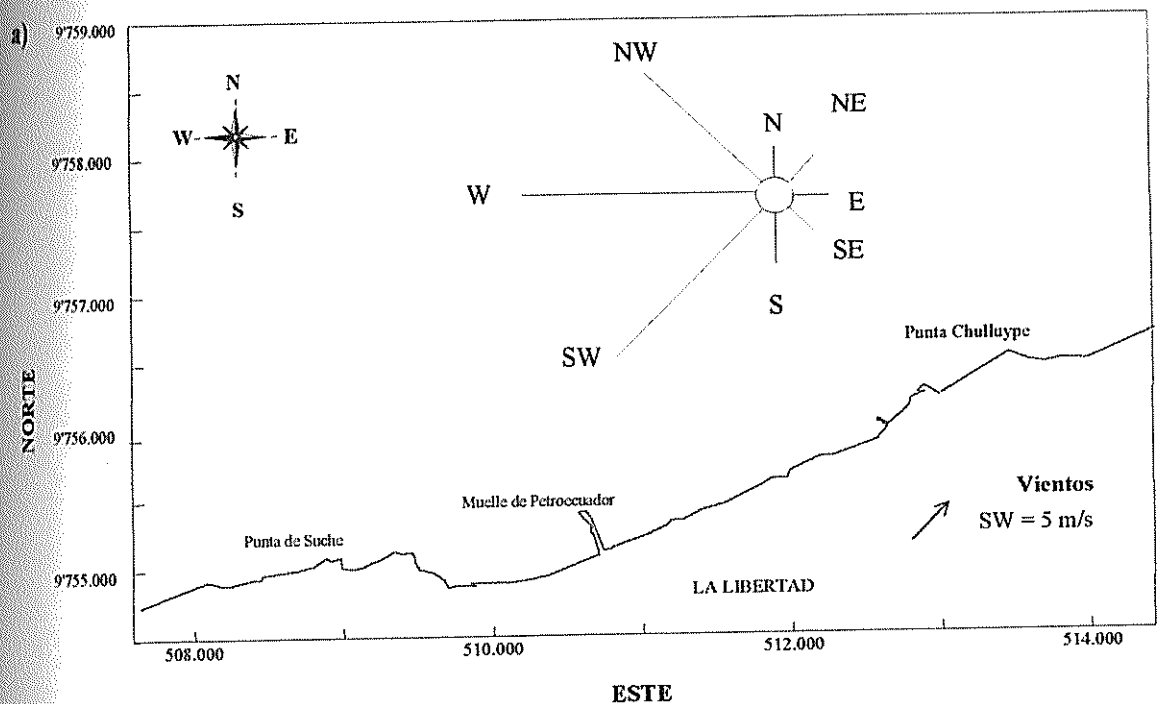


Figura 2. 23. Rosa de los vientos, a) Estación húmeda y b) Estación seca, 1990-1998.

Fuente: Estación meteorológica de La Libertad

Durante la estación húmeda las frecuencias de los vientos del SW y W son menores que en la época seca, además, se presenta un aporte importante de vientos del NW con un aporte promedio del 20 %, ver Tabla VII.

**TABLA VII. Dirección de los vientos (%), medidas en la estación meteorológica de La Libertad (10 m sobre el nivel del mar) durante el período 1990-1998)**

Mes	Dirección del viento (%)								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
ne.	1.75	1.08	0.81	0.27	4.59	<b>34.28</b>	<b>34.41</b>	<b>16.06</b>	6.75
Feb.	2.56	2.71	3.01	2.71	5.41	<b>26.02</b>	<b>29.02</b>	<b>20.30</b>	8.27
Mar.	2.46	1.77	3.41	4.23	5.05	18.14	<b>28.79</b>	<b>28.24</b>	7.91
Abr.	3.35	0.84	2.93	2.23	5.58	21.76	<b>30.82</b>	<b>22.59</b>	9.90
May.	0.74	0.74	0.86	1.11	6.42	<b>36.54</b>	<b>31.98</b>	15.19	6.42
Jun.	0.12	0	0	0.25	9.07	<b>39.63</b>	<b>41.86</b>	6.71	2.36
Jul.	0	0	0.12	0.12	8.15	<b>43.65</b>	<b>39.21</b>	6.24	2.52
Ago.	0.14	0	0.14	0	7.21	<b>42.02</b>	<b>41.89</b>	7.77	0.83
Sep.	0	0	0	0.28	4.32	<b>34.26</b>	<b>48.75</b>	11.00	1.39
Oct.	0	0	0.14	0	3.13	<b>40.00</b>	<b>47.46</b>	7.89	1.09
Nov.	0	0.1	0	0	2.2	<b>47.</b>	<b>39.64</b>	8.9	1.1
Dic.	0.2	0.4	0	0	2.8	<b>43.</b>	<b>38.49</b>	10.	3.5

En la época seca los vientos del SW y W alcanzan una frecuencia de hasta 48.75 %, los vientos del NW representan un aporte importante con un promedio de 8%, además en junio, julio y agosto los vientos del sur aumentan su incidencia alcanzando un máximo de 9.07%.

En cuanto a la magnitud de la velocidad del viento, se han registrado vientos promedios de hasta 4.84 m/s. La tabla VIII, indica que las mayores velocidades se presentan durante los meses de junio a diciembre.

**Tabla VIII. Promedio mensual de velocidad de vientos en La Libertad (1990 - 1998)**

Mes	7:00	13:00	19:00	Promedio Mensual
<b>Enero</b>	1.74	4.46	4.05	3.42
<b>Febrero</b>	1.66	3.73	3.49	2.96
<b>Marzo</b>	1.58	3.95	3.39	2.97
<b>Abril</b>	1.30	4.05	3.44	2.93
<b>Mayo</b>	1.90	4.47	3.83	3.40
<b>Junio</b>	2.83	4.52	4.00	3.79
<b>Julio</b>	3.04	4.68	4.23	3.99
<b>Agosto</b>	2.91	4.18	3.89	3.66
<b>Septiembre</b>	2.64	4.35	4.05	3.68
<b>Octubre</b>	2.76	4.56	3.96	3.76
<b>Noviembre</b>	3.14	4.76	4.13	4.01
<b>Diciembre</b>	2.56	4.84	4.14	3.85



### 2.1.3.2. Precipitación

De acuerdo con datos estadísticos de La Libertad (1988 - 1998), se registró 681.8 mm como el mayor valor de precipitación ocurrido en el mes de marzo de 1998.

En la época lluviosa, el promedio es de 69.9 mm de precipitación y en la época seca el promedio es de 1.8 mm. Los meses de junio, julio y agosto son los más secos con precipitaciones casi nulas, tabla IX.

En la Fig. 2.24, se presenta el promedio de la variación mensual de la precipitación desde el año 1989, y se observa que los meses de febrero y marzo son generalmente los de mayor precipitación.

La precipitación anual es severamente alterada en los años en que se presenta el evento El Niño, donde el promedio de precipitación suele ser más alto que en condiciones normales, como ocurrió en los años 1992, 1997 y 1998, tabla IX. Sin embargo la abundancia de lluvias no necesariamente indica la presencia de éste fenómeno, puesto que en el año 1989, cuando se tuvo un acumulado anual de precipitación alto, no existieron evidencias de El Niño.

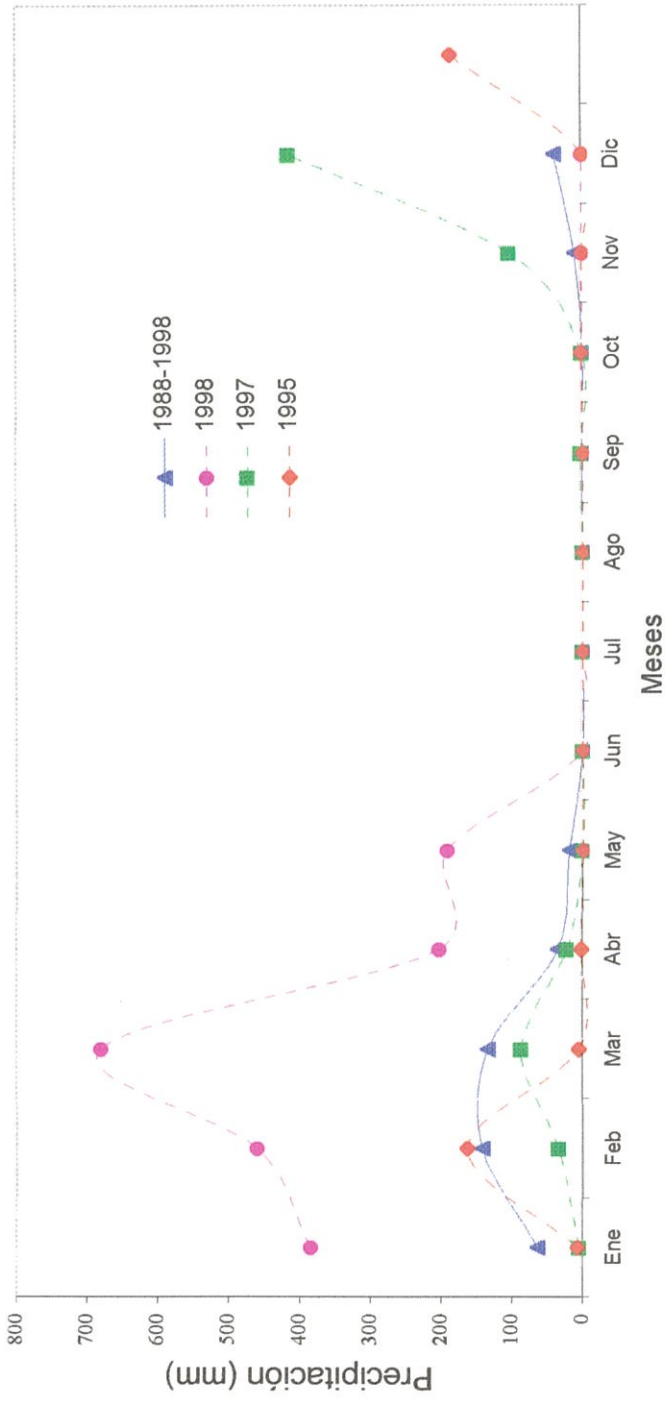


Figura 2.24. Promedios mensuales de precipitación (1988-1998)

Fuente: Estación meteorológica de La Libertad

**TABLA IX.- Promedios mensuales y acumulado anual de precipitación en La Libertad durante 1988 – 1998 (mm)**

<b>Mes Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Acumulado Anual (mm)</b>
<b>1988</b>	-				0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	4.1	*
<b>1989</b>	22.6	413.5	165.9	54.5	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>657.4</b>
<b>1990</b>	0.0	0.6	7.5	0.6	0.3	0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	1.2	10.4
<b>1991</b>	15.4	5.8	0.6	2.9	0.6	0	0.0	0.3	2.0	0.3	0.3	0.03	28.4
<b>1992</b>	6.4	150.8	305.1	57.7	10.7	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	<b>531.0</b>
<b>1993</b>	0.0	161.8	24.4	5.2	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	192.0
<b>1994</b>	16.5	11.6	73.7	6.4	0.3	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	120.6
<b>1995</b>	8.7	164.4	7.3	3.2	0.0	0	0.0	0.3	0.3	2.0	0.3	0.03	186.8
<b>1996</b>	3.5	25.5	2.0	5.2	0.0	0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	36.8
<b>1997</b>	6.1	34.2	87.9	23.5	0.3	0	0.0	0.3	2.6	0.9	103.	414.	<b>672.8</b>
<b>1998</b>	385.	461.4	<b>681.8</b>	204.	192.	0.9	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	<b>1927.6</b>
<b>Prom. Mens. (mm)</b>	46.5	143.0	135.6	36.4	18.6	0.1	0.0	0.1	0.5	0.3	9.6	39.3	

Promedio estación húmeda	Promedio estación seca
69.9 mm	1.80 mm

\* Sin valor acumulado, porque no hay datos en todos los meses.

### 2.1.3.3. Temperatura superficial del mar

Las mediciones de temperatura superficial del mar, realizadas en La Libertad (1988–1998), Fig.2.25, indican una tendencia estacional. Los meses más cálidos corresponden a febrero y marzo, con promedios de 27.3°C y los meses de menor temperatura a la época seca, con agosto como el más frío, con una temperatura de 23.1 °C.

Los años más cálidos corresponden a 1997 y 1998, con promedios de temperatura anual de 27.1 y 27.0 °C, respectivamente, tabla X.

**Tabla X.- Medias mensuales y anuales de temperatura media del mar en La Libertad, durante 1985 – 1999, (°C)**

Meses	Años											Media Mensual (°C)
	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	
Enero		27.0	25.8	25.2	25.1	27.0	27.8	28.2	27.3	27.3	29.1	27.0
Febrero		26.7	25.9	26.4	27.4	27.1	27.6	27.8	26.7	27.6	29.6	27.3
Marzo		28.2	26.0	26.4	28.5	27.3	27.1	26.8	25.2	28.0	29.9	27.3
Abril		25.5	25.2	25.4	29.3	27.1	25.2	26.9	23.7	25.9	29.6	26.4
Mayo	26.4	25.6	24.0	25.8	28.2	25.7	25.9	26.1	25.5	26.8	29.1	26.3
Junio	24.5	23.3	24.5	23.5	26.3	25.9	24.0	25.3	22.1	26.4	27.9	24.9
Julio	24.0	22.1	22.3	23.8	24.6	24.8	21.3	23.9	21.9	27.1	25.9	23.8
Agosto	22.8	21.6	21.7	23.2	23.5	22.9	21.9	23.2	22.0	26.4	24.6	23.1
Septiembre	23.7	22.6	21.9	22.5	23.2	23.5	22.1	23.7	22.9	26.5	24.5	23.4
Octubre	24.0	23.3	22.4	23.7	23.6	24.3	23.8	23.6	22.9	27.0	23.7	23.8
Noviembre	24.1	24.0	22.8	24.0	23.9	24.2	23.8	23.5	23.2	27.4	24.4	24.1
Diciembre	25.4	24.6	24.4	24.7	24.3	25.7	24.8	24.5	24.8	28.6	25.6	25.2
<b>Media Anual (°C)</b>	24.4	24.5	23.9	24.6	25.7	25.5	24.6	25.3	24.0	<b>27.1</b>	<b>27.0</b>	

#### 2.1.3.4. Temperatura del aire

De las temperaturas del aire medidas en La Libertad, Fig. 2.26, se obtuvo que las mayores temperaturas ocurren entre enero y mayo, con promedios que varían desde 24.9 a 26.3 °C, con febrero y marzo como los más cálidos. Las menores temperaturas se observaron entre junio y diciembre (21.1 a 23.6 °C), con agosto como el mes más frío, tabla XI.

**Tabla XI.- Promedios anuales y mensuales de la temperatura media del aire (°C). La Libertad, 1988-1996.**

AÑOS	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	Media Mensual (°C)
Mese												
<b>Ene.</b>		25.2	24.7	24.3	25.0	25.0	25.2	25.8	25.1	24.2	27.6	25.2
<b>Feb.</b>		25.6	25.6	26.2	26.4	25.9	25.9	26.2	26.3	26.5	27.9	<b>26.3</b>
<b>Mar.</b>		26.4	25.3	26.2	27.1	26.5	25.0	25.5	25.6	27.0	28.0	<b>26.3</b>
<b>Abr.</b>		24.9	24.8	24.9	27.5	26.1	24.4	25.5	23.1	25.6	28.1	25.5
<b>May.</b>	4.2	23.0	23.8	24.8	26.8	24.8	24.1	24.7	23.8	26.4	27.9	24.9
<b>Jun.</b>	1.9	21.4	23.3	22.7	24.1	24.0	22.7	23.4	20.7	26.0	25.9	23.3
<b>Jul.</b>	1.1	20.5	21.3	21.8	22.4	22.7	20.3	22.3	20.1	26.0	24.1	22.0
<b>Ago.</b>	0.1	19.4	20.3	21.5	20.7	21.0	19.9	21.3	20.4	25.2	22.4	21.1
<b>Sep.</b>	0.8	20.4	20.6	20.5	20.7	21.1	19.7	21.4	20.7	25.4	22.2	21.2
<b>Oct.</b>	1.4	21.3	20.8	21.6	21.3	21.5	22.2	21.9	20.5	25.7	21.7	21.8
<b>Nov.</b>	1.8	22.1	21.3	22.9	21.9	22.1	22.5	21.6	21.2	26.7	22.4	22.4
<b>Dic.</b>	3.0	22.8	23.0	23.8	22.8	23.5	23.8	22.7	23.0	27.4	23.5	23.6
<b>Media Anual (°C)</b>	21.8	22.7	22.9	23.4	23.9	23.7	23.0	23.5	22.5	<b>26.0</b>	<b>25.1</b>	

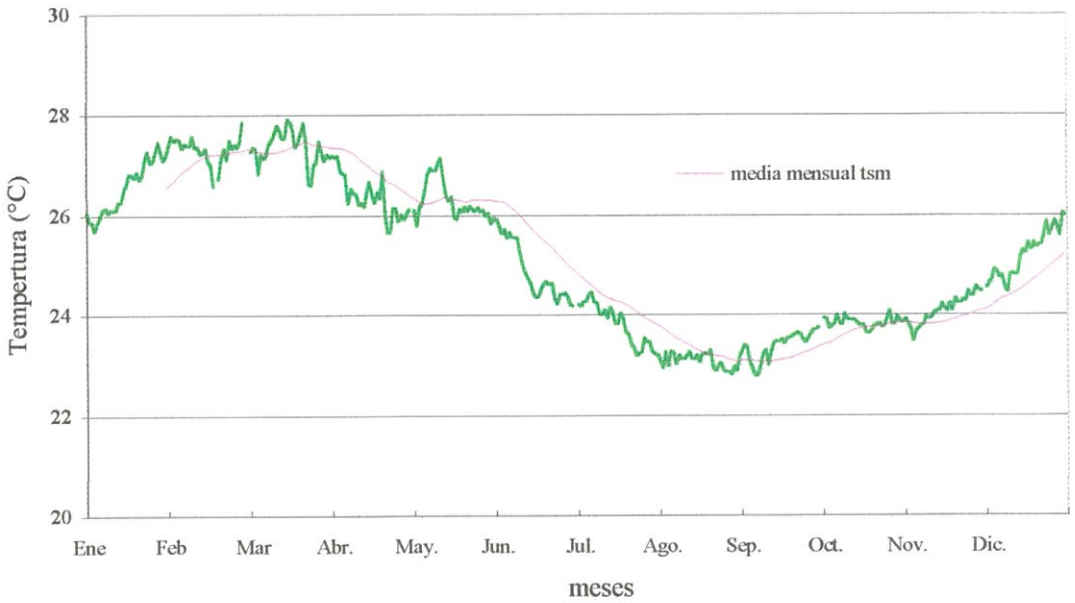


Fig. 2.25. Promedios mensuales de temperatura del mar (1988-1998)

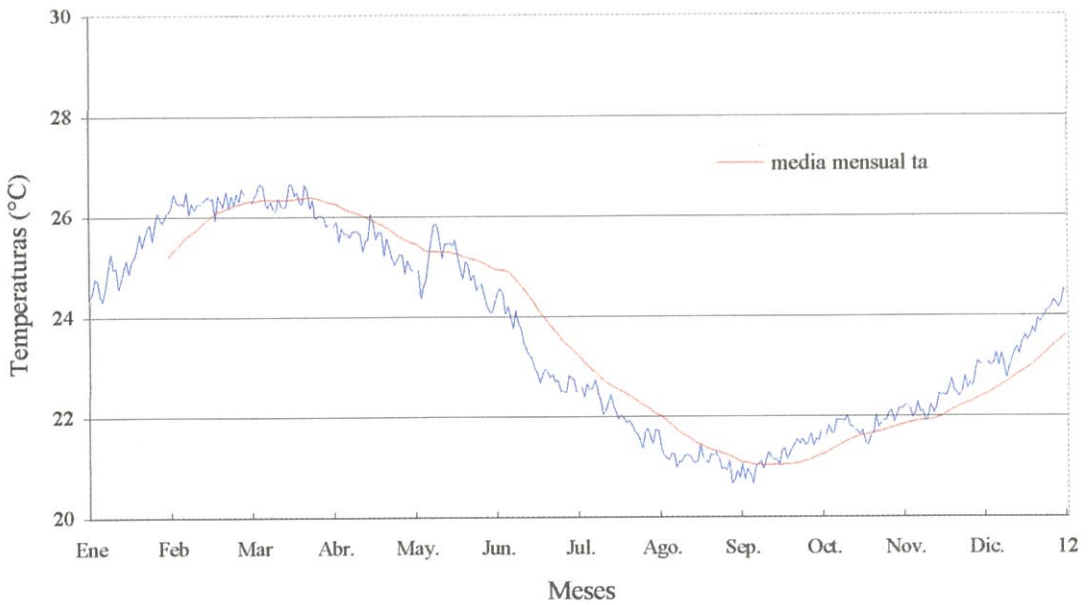


Fig. 2.26.- Promedios mensuales de temperatura del aire (1988-1998)

En las figuras 2.27 a, b y c), se observa que la temperatura del mar, es generalmente mayor a la del aire, se han comparado mediciones realizadas a las 07h00, 13h00 y 19h00 y únicamente los promedios de las 13h00 se igualan en los primeros meses del año; las mediciones de las 07h00 y 1900 tienen diferencias de hasta 2° C, siendo la temperatura del mar mayor.



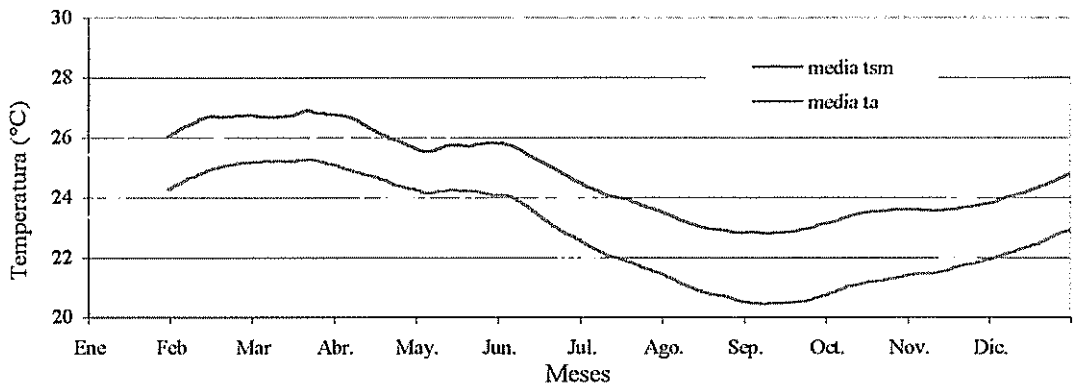


Figura 2.27a. Temperaturas del aire y del mar a las 07h00, 1988-1998

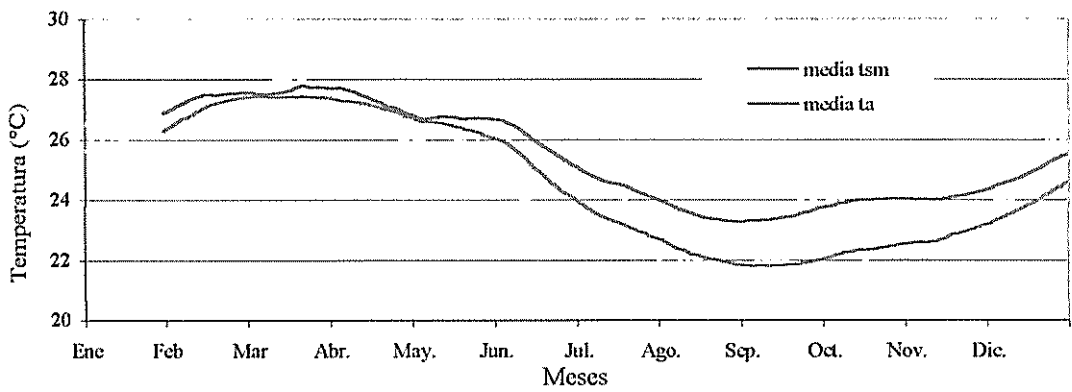


Figura 2.27b. Temperaturas del aire y del mar a las 13h00, 1988-1998

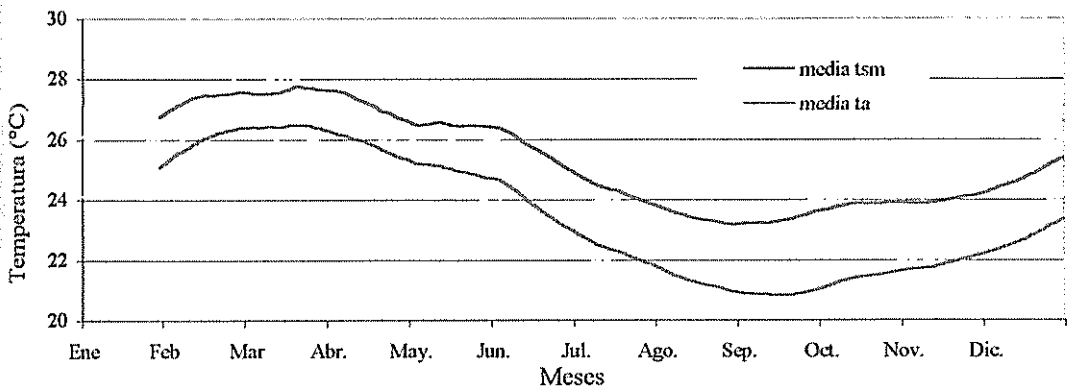


Figura 2.27c. Temperaturas del aire y del mar a las 19h00, 1988-1998

## 2.1.4.- Nivel del Mar y Cambios Climáticos

### 2.1.4.1. Nivel del mar

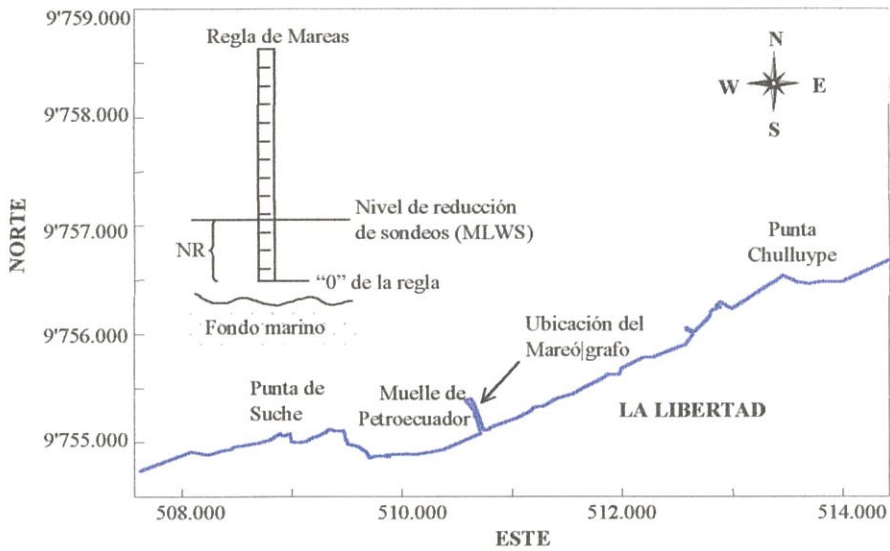
Es muy importante monitorear constantemente el nivel del mar, pues un aumento del mismo puede ocasionar impactos de diferentes clases produciendo un cambio en el comportamiento natural de los procesos costeros. Los principales cambios físicos que podrían ocurrir son: cambios en la línea de costa, sea por procesos de erosión o de crecimiento, variación en la amplitud y frecuencia de las mareas, entrada de agua hacia tierras planas, cambios en la salinidad del agua superficial. Todo esto trae como consecuencia, pérdidas de valores económicos a través de pérdida de tierras y de ambientes costeros típicos, incremento del riesgo de inundación y otros impactos relacionados con cambios en el uso del agua. En general se asume que las pérdidas ocurrirán gradualmente en proporción al aumento del nivel del mar.

Aumentos del nivel del mar, equivalentes a 1 cm, pueden resultar en un retroceso de la línea de costa en 1 m. (Brunn,1962), afectando a los centros poblados

que no podrán resistir el impacto de las olas.

Durante la ocurrencia de El Niño 82-83 se experimentaron procesos destructivos cuando algunos balnearios perdieron temporalmente sus playas especialmente durante las horas de las pleamares, mientras que muchas poblaciones sufrieron la destrucción de malecones y viviendas. Una elevación del nivel del mar, afectaría severamente a las estructuras costeras durante el invierno, épocas en que se presentan con mayor frecuencia olas altas provenientes del Pacífico Norte.

Las mediciones del nivel del mar realizadas en La Libertad, están referidas a un nivel de sondaje predeterminado, el cual está relacionado con la marea más baja ocurrida en un período de tiempo establecido, conocido como MLWS, que son siglas en inglés y que significan el promedio de las más bajas mareas de sicigia. En la figura 2.28, se indica la posición de referencia del mareógrafo con las cotas respectivas. En la tabla XII, se encuentran registrados los valores medios y máximos observados durante el período de medición (1948 - 1999).



### Corte Transversal de la ubicación de la regla de mareas



BM 8 - E (1948) = 14.494 m

Posición del muelle de La Libertad  
 Latitud: 02 12' S.  
 Longitud: 80 55' W

#### Abreviaturas

- MHWS :Promedio de las más altas mareas de sicigia
- MHHW :Promedio de las pleamares en la sicigia
- MHW : Promedio de todas las pleamares
- MLW :Promedio de todas las bajamares
- MLLW :Promedio de las bajamares en cuadratura
- MLWS :Promedio de las más bajas mareas de sicigia
- BM : Placa de señalización de cota.

12.074 m

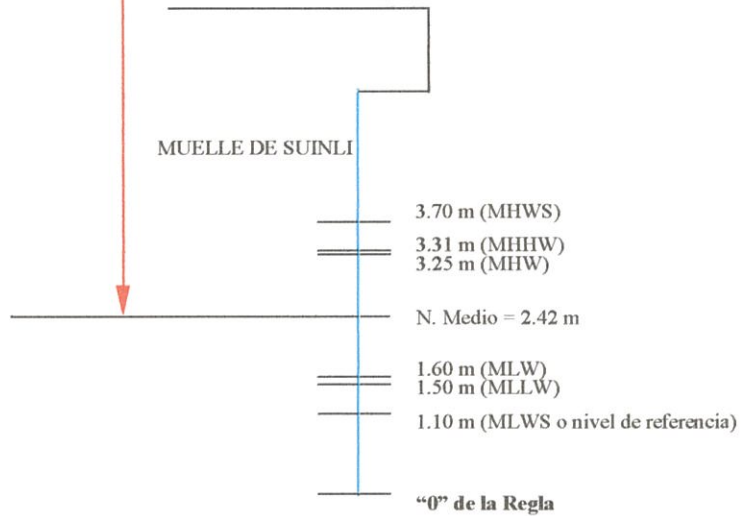


Figura 2.28. Ubicación de regla de mareas

De mediciones en La Libertad desde 1948 hasta 1999, se obtiene el gráfico de la normal del nivel medio del mar y la multianual, fig. 2.29, que se usa para comparar con gráficos en años con la presencia de algún evento oceánico-atmosférico (1982, 1983, 1997 y 1998) con años normales (1994 y 1995). Por ejemplo, en las figs. 2.30 y 2.31, se observa que a partir de setiembre/82 el nivel del mar se aleja de la normal hasta junio del 83, aumentando un máximo de 32 cm. en mayo/83. En las figuras 2.32 y 2.33, correspondiente a los años 97 y 98, el comportamiento es parecido. En años normales, por ejemplo en 1994, figura 2.34, el nivel del mar permanece cerca a la normal, para disminuir en 23 cm en agosto y septiembre y ponerse nuevamente cerca de la normal. En la figura 2.35, 1995, se observa que casi todo el año el nivel del mar se encuentra debajo de la normal con un máximo de 13 cm en el mes de diciembre.

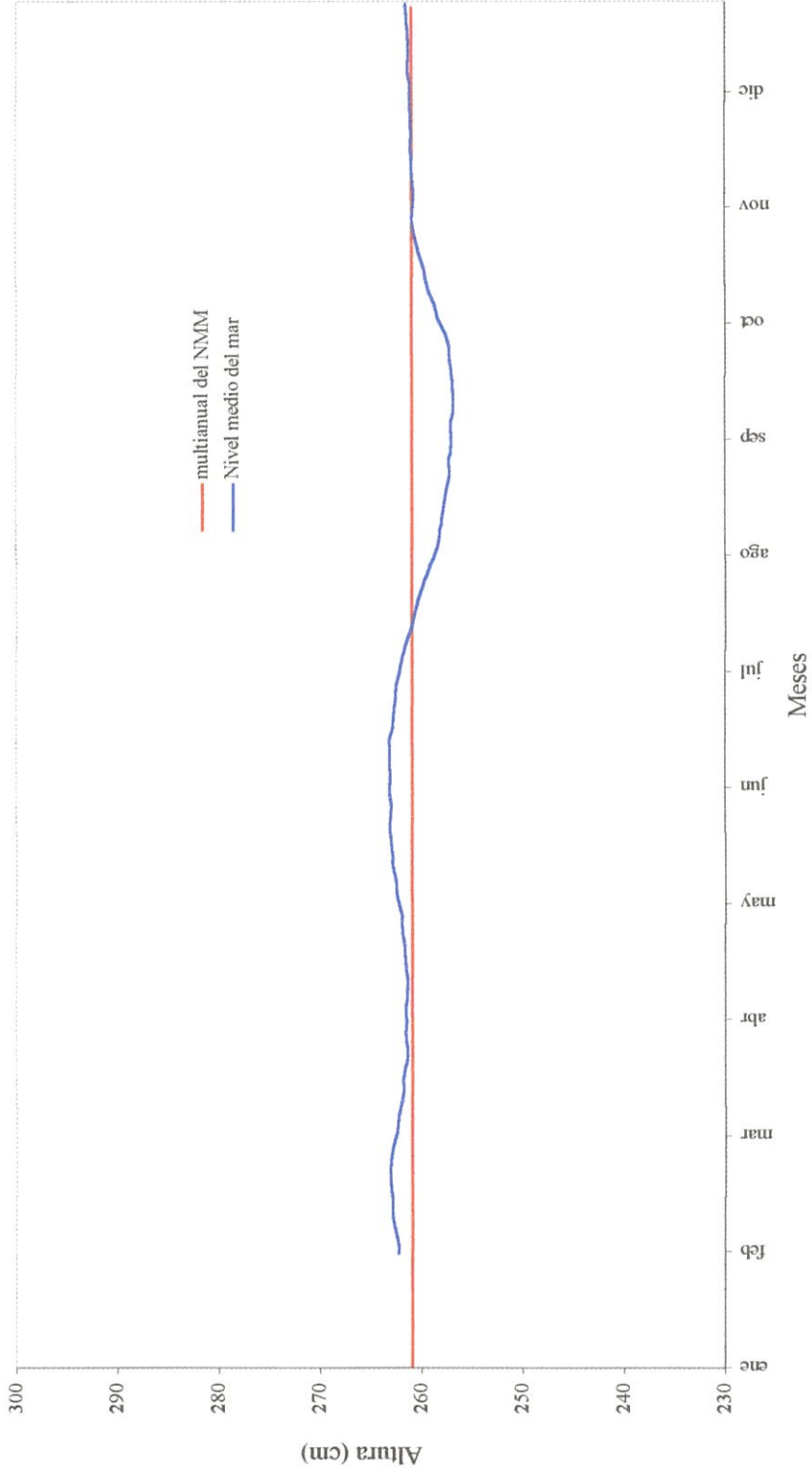


Figura 2.29. Normal del nivel medio del mar obtenida en el período entre 1975 y 1999, referidas al MLWS

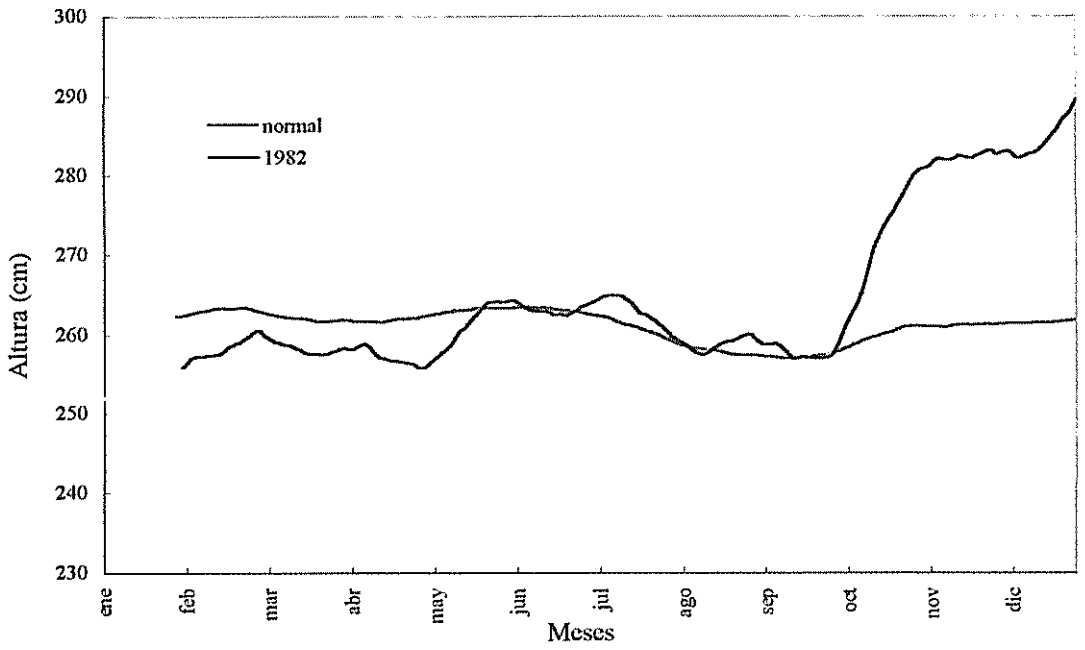


Figura 2.30. Promedio mensual del nivel medio del mar (1982)

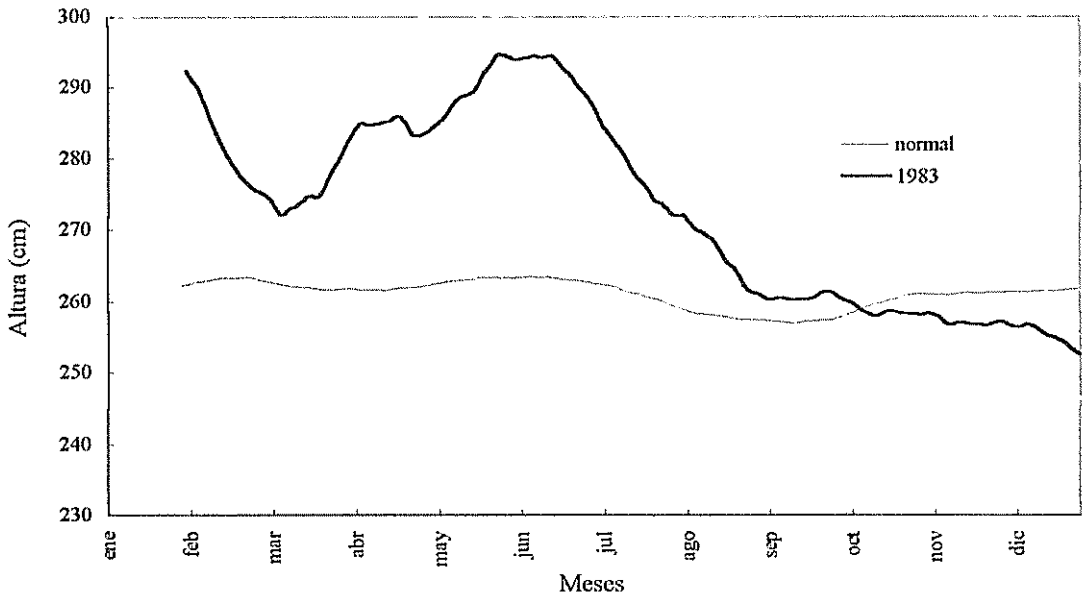


Figura 2.31. Promedio mensual del nivel medio del mar (1983)

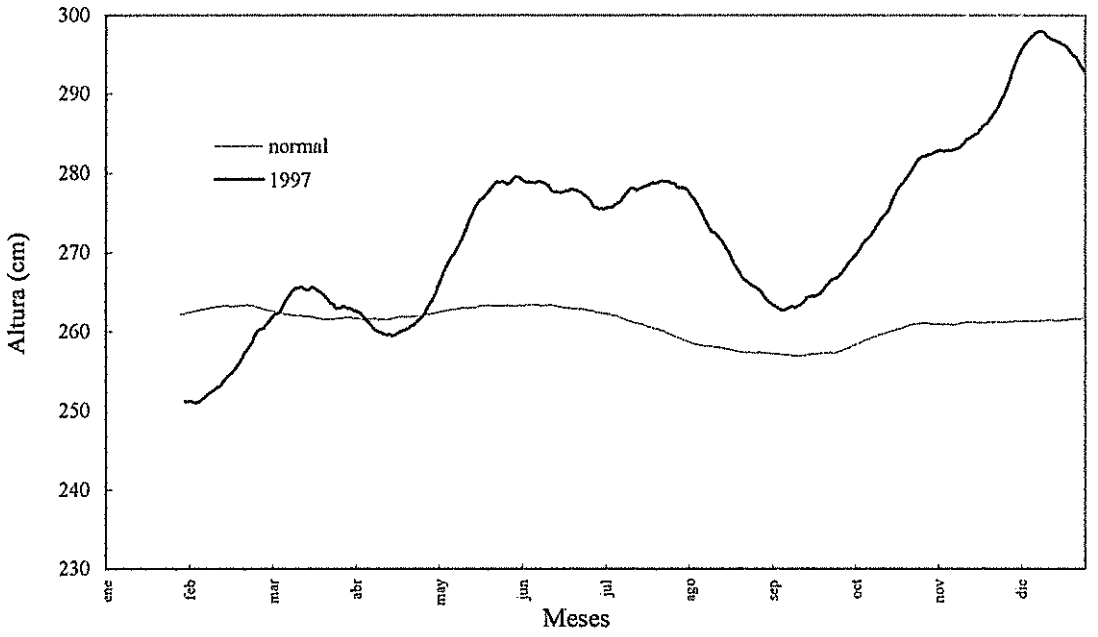


Figura 2.32. Promedio mensual del nivel medio del mar (1997)

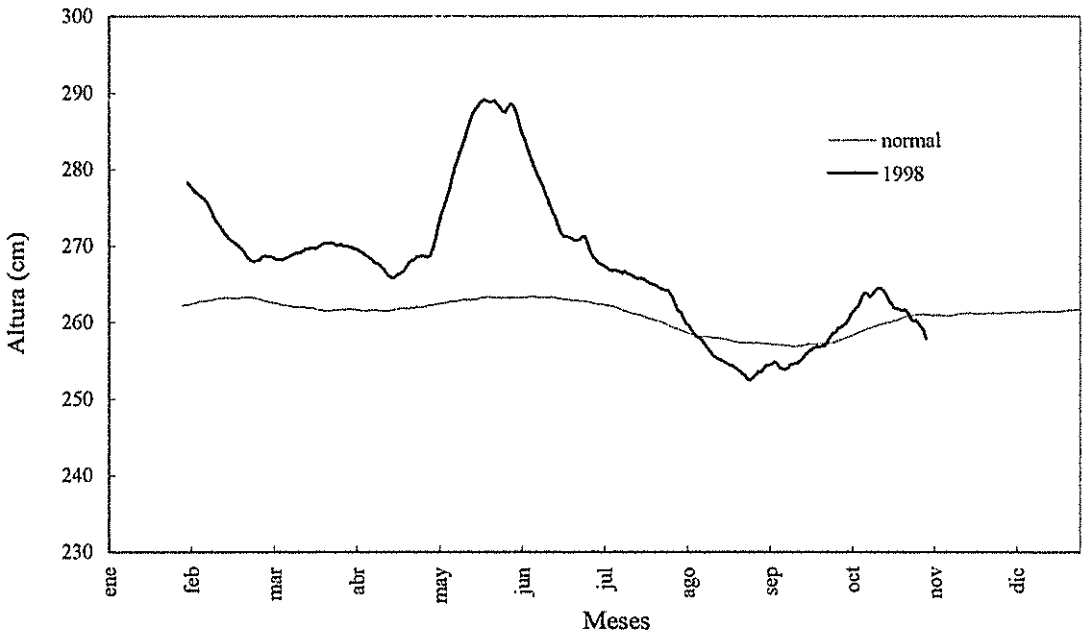


Figura 2.33. Promedio mensual del nivel medio del mar (1998)



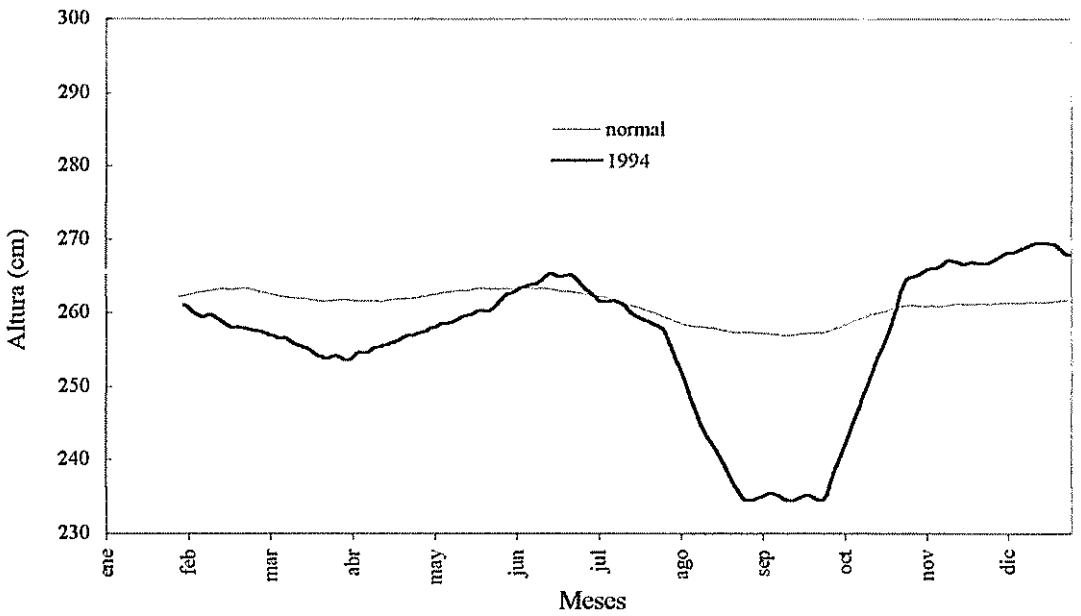


Figura 2.34. Promedio mensual del nivel medio del mar (1994)

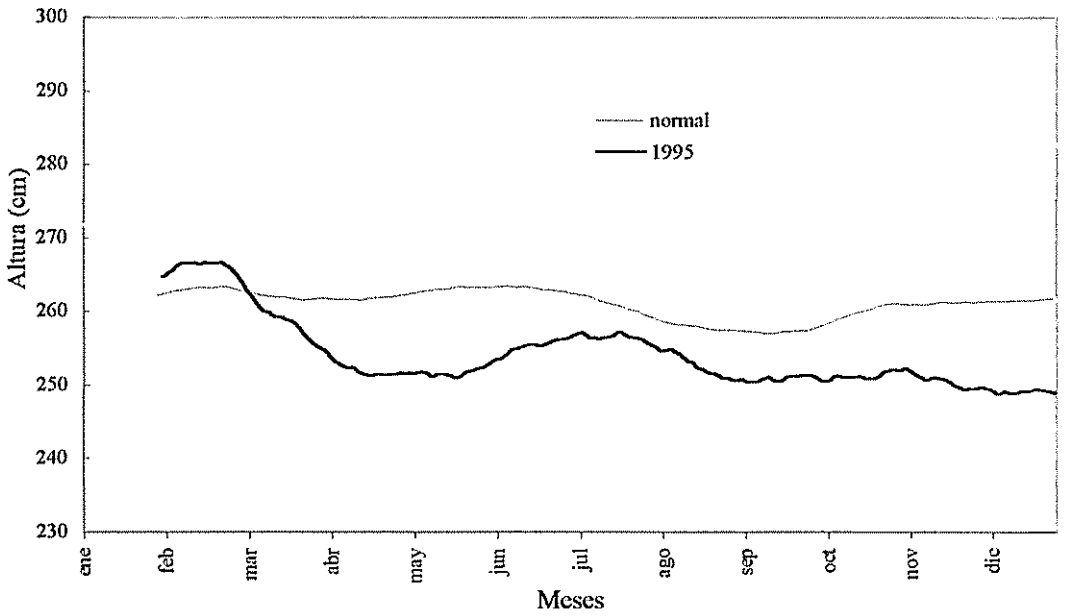


Figura 2.35. Promedio mensual del nivel medio del mar (1995)

Tabla XII.- Promedios del nivel medio del mar (mm), referidos al MLWS, 1948 hasta 1998, La Libertad

Año	Media Anual (mm)	Máxima anual (mm)		Año	Media Anual (mm)	Máxima Anual (mm)	
1948	258.80	259.70		1974	257.03	265.20	
1949	259.40	268.20		1975	255.21	265.70	
1950	257.15	263.30		1976	<b>266.19</b>	<b>271.50</b>	*
1951	<b>265.35</b>	<b>279.00</b>	*	1977	258.62	265.40	
1952	260.48	265.00		1978	260.99	266.60	
1953	<b>267.28</b>	<b>274.30</b>	*	1979	264.88	269.60	
1954	266.51	271.30		1980	265.77	272.20	
1955	261.65	271.60		1981	261.82	278.90	
1956	265.45	272.60		1982	<b>265.58</b>	<b>288.80</b>	***
1957	<b>275.21</b>	<b>283.80</b>	**	1983	<b>273.10</b>	<b>294.20</b>	***
1958	<b>266.46</b>	<b>278.10</b>	**	1984	254.35	257.10	
1959	264.55	269.90		1985	253.13	258.50	
1960	261.92	268.80		1986	258.01	264.80	
1961	261.76	267.10		1987	263.98	276.80	*
1962	259.54	264.80		1988	255.23	261.00	
1963	264.66	267.50		1989	257.37	261.20	
1964	259.98	264.50		1990	255.37	261.00	
1965	262.60	268.70	*	1991	260.38	266.20	*
1966	262.19	266.00		1992	263.76	277.70	*
1967	264.38	271.50		1993	261.43	267.90	*
1968	265.08	274.10		1994	256.74	267.90	
1969	269.89	279.00		1995	254.23	264.60	
1970	255.50	268.60		1996	253.20	255.00	
1971	255.78	261.10		1997	<b>272.5</b>	<b>305.3</b>	***
1972	<b>268.68</b>	<b>278.20</b>	**	1998	<b>265.5</b>	<b>317.1</b>	***
1973	254.78	262.40	**				

\* Años con la presencia de un evento El Niño débil

\*\* Años con la presencia de un evento El Niño moderado

\*\*\* Años con la presencia de un evento El Niño fuerte

#### **2.1.4.2. Cambios Climáticos**

Los patrones que rigen el clima son producidos por una compleja interacción entre el sol, la atmósfera, los océanos, los hielos, y la superficie de la tierra, de manera que los cambios que se produzcan en alguno de ellos pueden modificar el equilibrio natural establecido afectando al clima de manera global.

Predecir el comportamiento del clima ha sido una tarea que el hombre nunca ha podido cumplir a ciencia cierta, y así las tormentas, sequías, inundaciones y hambrunas han azotado una y otra vez a la humanidad. Sin embargo los datos de los últimos 150 años indican que hay una tendencia marcada en el comportamiento del clima: la tierra está calentándose gradualmente. Y es que cada vez existen mayores evidencias científicas que no dejan dudas de que el clima está cambiando con mayor celeridad, que el hombre es uno de los principales actores en estos cambios y que el efecto de dichos cambios serán mayores en los próximos decenios. Al parecer el creciente uso de combustibles fósiles como principal fuente de energía, y las intensas

actividades de deforestación están provocando una mayor acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera, que se traduce en un paulatino aumento de la temperatura en el planeta (Espinoza, 1993).

El Programa Ambiental de las Naciones Unidas (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (WMO), han pronosticado que las temperaturas se elevarán aproximadamente 0.3 grados centígrados por década, suponiendo que continúen las emisiones de los gases de efecto de invernadero. Esto ocasionaría un probable incremento de la temperatura promedio del planeta de aproximadamente 1°C por encima del valor actual para el año 2025, que traerá como consecuencia el correspondiente aumento de la temperatura superficial del mar en 1.5°C y el incremento relativo del nivel del mar de 20 cm para el mismo año. Esta variación y cambio del clima tendrá su impacto dentro del medio ambiente oceánico y costero con un marcado cambio en los sistemas de vientos y corrientes, la intensificación de las tormentas tropicales y daños en los ecosistemas costeros.

## 2. Planificación de las actividades

Luego de la recopilación de la información existente presentada, se procedió a realizar mediciones de características litorales en cuatro estaciones, cuya ubicación se encuentra en la fig. 2.36.

Dichas observaciones durante las épocas seca y húmeda, tanto en cuadratura como en sicigia. Los datos recopilados corresponden a toma de muestras de sedimentos a lo largo de la línea de costa, observaciones visuales de altura, período y tipo de olas rompientes, dirección de corriente litoral, alineación de la playa, ancho de la zona de rompiente y ángulo de llegada del tren de ondas.

Se analizaron los datos de altura de rompiente, con el fin de obtener las alturas medias significativas para cada estación en cada época del año. Con los datos de las corrientes litorales se procedió a obtener información de la velocidad de la corriente litoral promedio y la dirección predominante en las estaciones, tanto visualmente como mediante el uso de fórmulas teóricas.

Con los datos de velocidad de la corriente litoral y altura rompiente se calcula el transporte litoral con tres métodos diferentes: Komar, Higgins y Cerc, con el fin de comparar los resultados obtenidos y definir si la

existencia de erosión o crecimiento de playa.

Mediante la ayuda de algunos medios, tales como cartas batimétricas, fotografías aéreas, imágenes de internet y a la información obtenida mediante los cálculos se podrá determinar que procesos han ocurrido en esta playa.

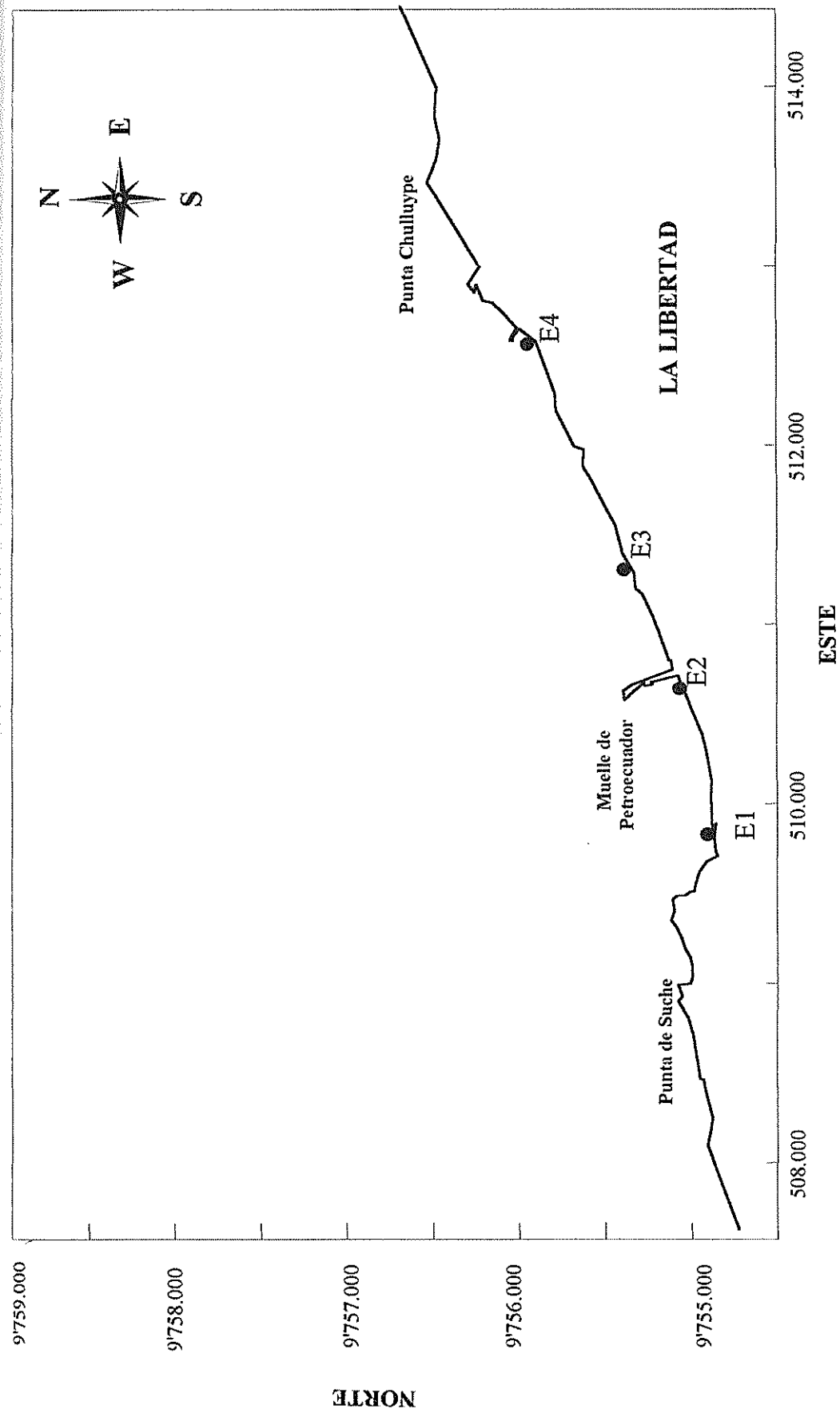


Figura 2.36. Ubicación de las estaciones de medición

### 2.3. Métodos de medición

En todas las estaciones, cada hora se miden visualmente las alturas de 10 olas rompientes, de las cuales se deduce un valor promedio. Para obtener el período se toma el tiempo en que las 10 olas tardaron en arribar a la costa y se divide ese valor para el número de olas observadas.

La corriente litoral se obtiene mediante el seguimiento de la trayectoria de un flotador pequeño, que es lanzando por un observador en la zona de rompiente. Se mide el tiempo que éste tarda desde que cae en el mar hasta vararse en la playa y la distancia recorrida desde el sitio donde cayó hasta donde fue recogido. Con el tiempo y espacio se deduce la velocidad.

La alineación de la playa y la dirección de arribo de las olas se la mide con una brújula o compás de bote.

Las olas no rompientes, nombradas en el capítulo anterior fueron medidas con un olígrafo que funciona electrónicamente y que fue colocado en el fondo oceánico en el veril de los 13 m., para que mida cada cierto intervalo de tiempo, INOCAR.

Para medir corrientes con el método Lagrangiano se siguió la trayectoria de una parcela de agua cuya posición se mide en un



intervalo de tiempo, para tal efecto se utilizaron flotadores a la deriva, los que son empleados para conocer la trayectoria del flujo en el área de interés, con lo que se obtiene información de corrientes superficiales y subsuperficiales (3 metros).

Con el método Euleriano monitorea el flujo en un punto fijo, durante largos períodos de tiempo, para lo cual se utilizó un correntómetro autocontenido de registro automático, al que se lo colocó en el veril de los 13 m., INOCAR.

#### **2.4. Tratamiento de la información**

Se revisan las series de datos visualmente, luego se limpia los datos que están fuera de rango a criterio del investigador, finalmente se usan los datos en cálculos matemáticos o a través de fórmulas y también se realizan gráficos estadísticos del comportamiento de datos históricos.

También se eligió a la altura de olas como un factor importante en los procesos costeros, por lo que se correlacionó a la misma con altura de la marea, intensidad de los vientos locales y precipitación de las alturas de olas para observar el tipo de relación existente.

# CAPÍTULO 3

## 3. PROCESOS COSTEROS

### 3.1. Olas Rompientes

Las olas rompientes constituyen un factor principal en la determinación de la geometría y composición de las playas y son de influencia significativa en la planificación y diseño de obras realizadas en la zona litoral. Al aproximarse una ola hacia la costa y disminuir la profundidad, su dirección puede cambiar por el efecto de refracción. La altura de la ola puede aumentar en gran magnitud, en referencia a lo que tenía en aguas profundas antes de romper, disipando gran cantidad de energía formándose olas muy empinadas, por lo que el agua comienza a moverse a la misma velocidad de las olas, lo que se manifiesta en la turbulencia del agua, y provoca que los materiales de fondo sean removidos, mantenidos en suspensión y finalmente transportados.

### 3.1.1. Alturas

De acuerdo a estudios realizados por Cardín y Allauca (1988), las olas frente a las costas ecuatorianas corresponden a olas generadas en lugares distantes, conocidas como mar de fondo. Las olas de mar de fondo o tipo swell, presentan en el océano abierto un perfil casi sinusoidal, son olas largas y de crestas suaves, las cuales al entrar a aguas someras sufren transformaciones, que empiezan cuando sienten el fondo, lo que ocurre a una profundidad aproximada igual a la  $\frac{1}{2}$  de la longitud de onda en aguas profundas ( $L_0$ ), llegando a ser más significativa a una profundidad igual a un cuarto de  $L_0$ . En esta situación, tanto la velocidad como la longitud de la ola decrecen, mientras que la altura aumenta progresivamente, solamente el período se mantiene constante. El tren de ondas resultante consiste en una serie de crestas agudas separadas con valles planos, el cual al llegar a la zona de rompiente las olas se vuelven inestables y rompen cuando la razón entre la altura de la ola y la profundidad del agua llega a ser alrededor de 0.7.

Los datos de alturas de olas rompientes correspondientes a La Libertad, fueron obtenidos en las 4 estaciones de muestreo indicadas en la figura 2.63, y se las describe en la tabla XIII, clasificadas de acuerdo al tipo de marea y a la época del año.

En la estación seca las alturas oscilan entre 0.19 y 0.48 m. En

la sicigia, las alturas son ligeramente mayores, en la estación 4, mientras que en la cuadratura, las 4 estaciones tienen alturas similares. No existen diferencias notables de alturas entre la sicigia y cuadratura en esta época.

En la época húmeda las alturas oscilan entre 0.24 y 1.14 m. En la cuadratura, la E3 posee los mayores valores de altura. En la sicigia, las estaciones 2, 3 y 4 tienen alturas mayores a 0.55 m, mientras que la E1 tiene como máximo, una altura de 0.46 m. En la sicigia las alturas son mayores que la cuadratura.

Tabla XIII. Altura de olas rompientes en La Libertad

			Alturas (m)			
			Estaciones			
		Fecha	E1	E2	E3	E4
<b>Época Seca</b>	Sicigia	19/10/94	0.36	0.38	0.31	0.39
		20/10/94	0.33	0.22	0.26	0.39
		21/10/94	0.29	<b>0.19</b>	0.30	<b>0.48</b>
		22/10/94	0.35	0.28	0.32	0.38
		27/06/95	-	0.46	0.36	0.36
		25/10/95	-	-	0.36	-
		26/10/95	0.40	0.32	0.32	-
	Cuadratura	27/10/94	0.40	0.24	0.29	0.31
		28/10/94	0.22	0.26	0.25	0.31
		29/10/94	0.28	0.29	0.27	0.25
		30/10/94	0.20	0.26	0.38	0.26
		4/08/95	-	0.36	-	-
		5/08/95	0.36	0.42	0.22	0.42
		6/08/95	0.25	0.44	0.19	0.43
<b>Prom. Época seca</b>			0.31	0.32	0.29	0.36
<b>Época Húmeda</b>	Cuadratur	09/03/95	0.31	<b>0.24</b>	0.51	0.28
		10/03/95	0.33	0.30	0.54	0.25
		11/03/95	0.44	0.34	0.66	0.31
	Sicigia	16/03/95	0.27	<b>1.14</b>	0.69	0.60
		17/03/95	0.30	0.75	0.92	0.66
		18/03/95	0.46	0.67	0.87	0.55
	<b>Prom. Época</b>			0.35	0.57	0.70

De acuerdo a lo descrito y de lo que se puede observar de la tabla XIII, se deduce que las alturas rompientes son influenciadas por la época del año. En la estación seca, las alturas son menores que en la húmeda.

### **3.1.2. Períodos**

El viento es el principal generador de las olas, transfiere su energía del aire al mar, lo que origina la formación de ondas de distintas alturas y períodos. Esta energía, depende de la duración, velocidad y de la distancia sobre la cual sopla el viento. El flujo de energía es proporcional al período y al cuadrado de la altura, entonces se requeriría una mayor entrega de energía, desde el viento hasta las olas, para duplicar la altura de una ola de período largo, que una ola de período corto. Por lo tanto olas de largo período sólo se pueden desarrollar bajo condiciones extremas, con vientos fuertes, de larga duración y soplando sobre grandes distancias. En mar abierto se podrían producir olas de períodos mayores a 20 s, pero en general se tiene olas de períodos entre los 10 y 15 s, por el contrario, en una pequeña piscina, los períodos que se generarán están entre 2 y 3 segundos.

De acuerdo a la clasificación de olas por su período, en nuestras costas corresponden a olas de mar de fondo, es decir, olas generadas por vientos en otra región y llevadas

hasta nuestras playas.

Los períodos en las estaciones están entre 11.1 y 20 s, tabla XIV. Su comportamiento es similar durante todo el año, coincidiendo con los valores obtenidos por el olígrafo instalado por INOCAR, en el veril de los 13 m.

**Tabla XIV. Períodos de Olas rompientes en las estaciones de medición**

			<b>Período (s)</b>			
			<b>Estaciones</b>			
		<b>Fecha dd/mm</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>
<b>Época Seca</b>	Sicigia	19/10/9	15.5	11.5	12.8	12.4
		20/10/9	19.3	13.2	12.9	16.0
		21/10/9	16.4	12.4	12.2	16.9
		22/10/9	16.7	13.4	12.3	16.8
		27/06/9	-	14.0	11.0	11.0
		25/10/9	-	-	14.5	-
		26/10/9	14.0	16.0	15.0	-
	Cuadratura	27/10/9	21.7	15.2	15.4	19.5
		28/10/9	18.1	15.9	13.8	18.9
		29/10/9	17.0	16.5	16.0	16.9
		30/10/9	23.2	15.6	17.2	15.5
		4/08/95	-	11.0	-	-
		5/08/95	15.0	9.1	11.4	7.4
		6/08/95	18.5	9.7	11.4	8.0
<b>Prom. época seca</b>			17.7	13.3	13.5	14.5
<b>Época Húmeda</b>	Cuadratura	09/03	23.8	15.9	16.6	19.4
		10/03	21.4	16.9	16.2	20.6
		11/03	21.7	15.5	15.1	13.5
	Sicigia	16/03	17.9	17.2	15.4	19.6
		17/03	13.9	15.4	16.0	15.9
		18/03	18.17	14.28	14.8	18.0
	<b>Prom. Época</b>			19.5	15.9	15.7



### 3.1.3. Dirección

Las crestas de las olas, suelen alinearse paralelas a la línea de costa por efecto de la refracción, sin embargo en ocasiones llegan con ángulo respecto a la línea de playa, lo que da lugar a las llamadas corrientes litorales.

En las cuatro estaciones el tren de ondas viene con una dirección que oscila entre  $295^\circ$  y  $335^\circ$  (NW). La alineación de la línea de playa es la siguiente en grados magnéticos:

Estación 1:  $85^\circ$

Estación 2:  $70^\circ$

estación 3:  $65^\circ$

estación 4:  $50^\circ$

La cresta de la ola forma ángulos de entre  $10^\circ$  y  $30^\circ$  con la línea de costa de cada estación, lo que se puede apreciar en la figura 41, lo que induce una corriente litoral hacia la derecha. En la tabla XV, se encuentran los ángulos más representativos observados durante las mediciones.

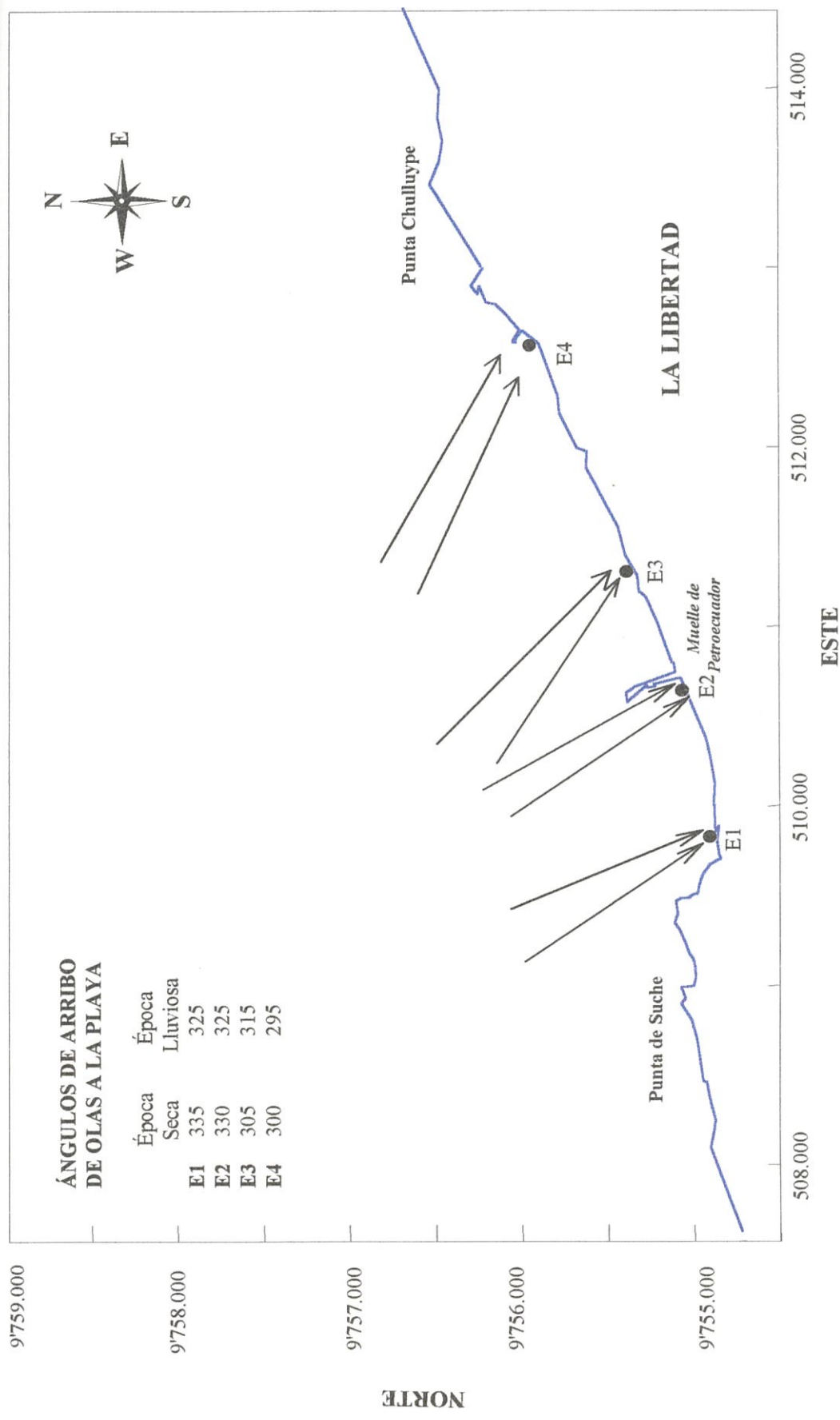


Figura 3.1. Dirección del oleaje en las estaciones de medición en La Libertad, 1995

**Tabla XV.- Ángulos que forman las crestas de las olas con la línea de costa (grados magnéticos).**

	<b>ÉPOCA SECA</b>	<b>ÉPOCA HÚMEDA</b>
Estación 1	20	30
Estación 2	10	15
Estación 3	30	20
Estación 4	20	25

### **3.1.4. Clasificación de Olas rompientes**

Las olas al llegar a la playa, rompen al acercarse a la zona de rompiente, figura 3.2, cuando se cumple la razón  $H/d=0.78$ , siendo tres las formas básicas de ruptura olas de volteo, de derrame y de surfing.

- a) En las olas de volteo o plunging, la cara delantera de la ola se vuelve vertical, se enrolla hacia delante, volteándose y cayendo sin cambiar su forma. Se relacionan con playas de pendiente suave y con olas de mediana inclinación. Un gran porcentaje de energía se pierde fuera del punto de ruptura en la zona de surf. Se forma una nueva ola de altura reducida, la que continúa hacia la costa sin romper, en donde alcanza un nuevo punto de ruptura.
- b) Olas de derrame, cuando la ola en forma gradual se empina hasta que la cresta llega a ser inestable y el agua

cae formando cascadas, formando burbujas y espuma, suelen ocurrir en playas de pendiente baja, casi horizontales y con olas muy inclinadas. Solamente una parte de energía se pierde en la rompiente, justo la suficiente para lograr que la ola se mantenga rompiendo en todo su camino hacia la playa.

- c) Las olas tipo surging, se empinan como si fueran a voltearse, pero antes de esto, la base de la ola se levanta hacia la cara de la playa, provocando que la cresta colapse y desaparezca. Ocurren sobre playas con pendiente aguda y con olas de poca inclinación, la ola alcanza la costa antes de romper, conteniendo considerable energía. Esta onda es reflejada mar adentro ( en forma de pared), interfiriendo en la llegada de la ola siguiente, provocando el incremento de la altura de las olas. Figura 3.3.

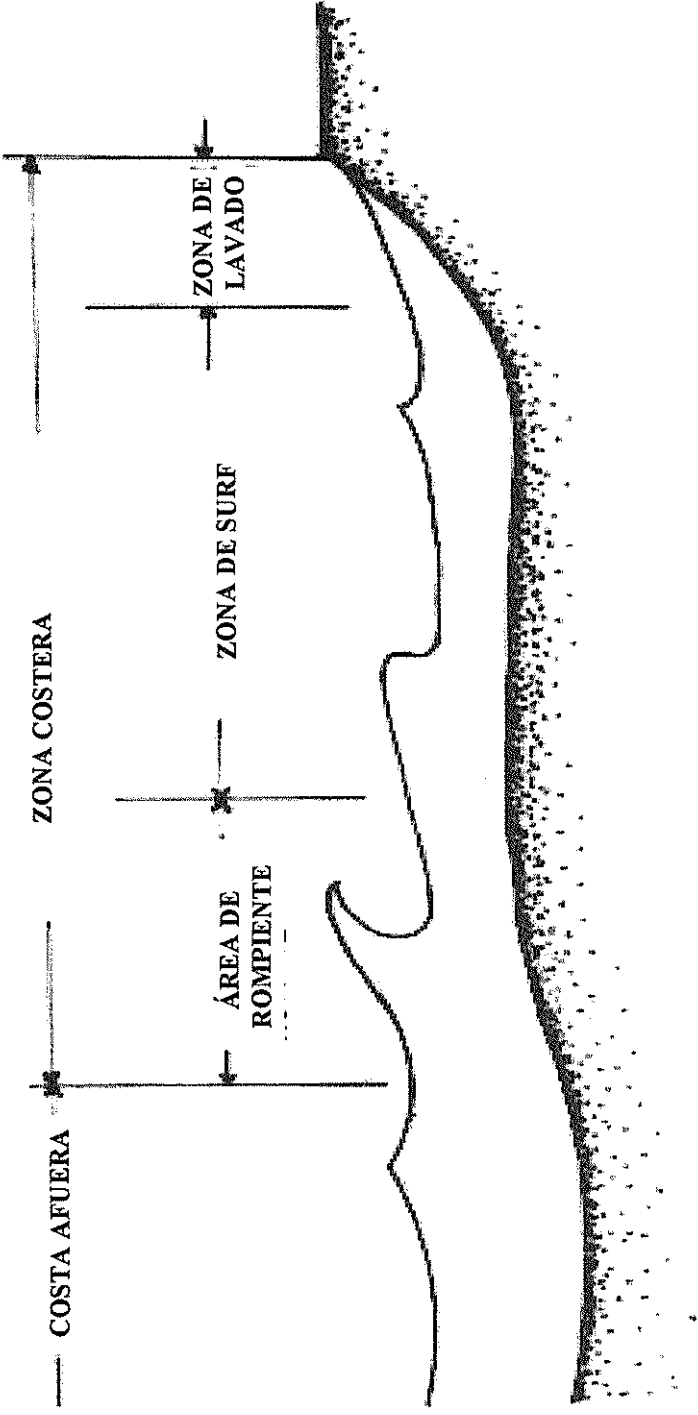
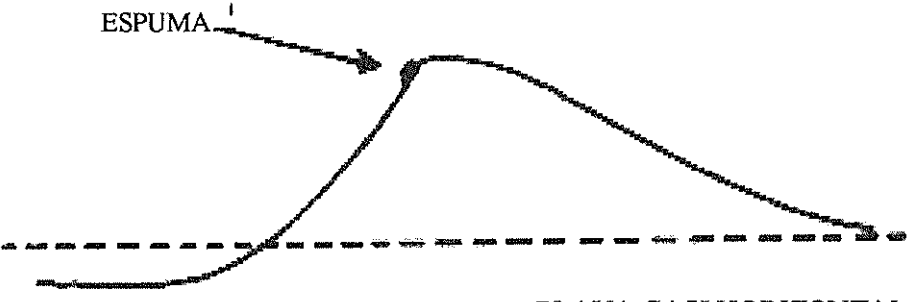


Figura 3.2. Zona de rompiente

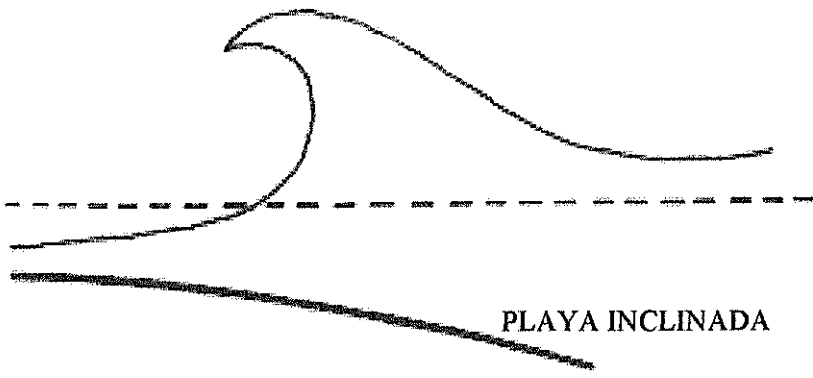
**DERRAME**

ESPUMA



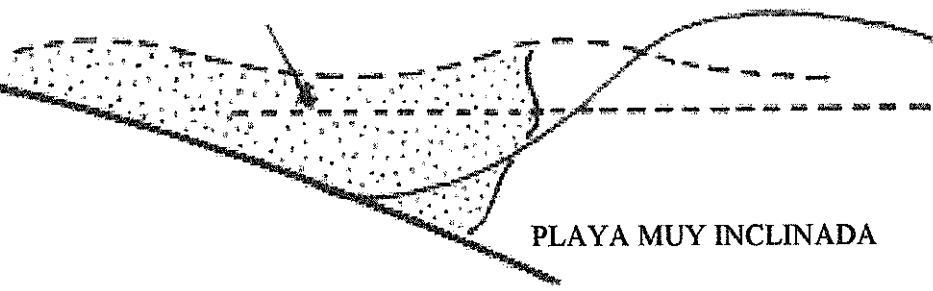
PLAYA CASI HORIZONTAL

**VOLTEO**



PLAYA INCLINADA

**SURGING**



PLAYA MUY INCLINADA

Figura 3.3.- Tipo de Olas

Si se considera al parámetro de surfing, como un indicador del tipo de rompiente, el cual involucra a la pendiente de la playa como factor determinante, entonces con los datos de campo y al aplicar la fórmula, se obtiene el tipo de rompiente en forma teórica como se indica en la tabla XVI.

$$\varepsilon = (H_b) / (gT^2 \tan\beta) \quad \text{parámetro de surfing, donde}$$

$$\varepsilon > 7.5 \times 10^{-2}, \quad \text{rompiente tipo derrame}$$

$$5.1 \times 10^{-3} < \varepsilon < 7.5 \times 10^{-2}, \quad \text{rompiente de volteo}$$

$$\varepsilon < 5.1 \times 10^{-3} \quad \text{rompiente de surfing}$$

$H_b$ : altura rompiente,  $T$ : período,  $\tan\beta$ : pendiente de la playa.

**Tabla XVI. Parámetro de surfing en las estaciones de muestreo :**

	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>
Pendiente ( $\tan \beta$ )	0.01	0.037	0.025	0.0167
<b>Época seca</b>				
Altura promedio (m)	0.31	0.32	0.29	0.36
Período (s)	17.7	13.3	13.5	14.5
$\varepsilon$	$1.01 \times 10^{-2}$	<b><math>4.98 \times 10^{-3}</math></b>	$6.49 \times 10^{-3}$	$1.05 \times 10^{-2}$
<b>Época húmeda</b>				
Altura promedio (m)	0.35	0.57	0.7	0.44
Período (s)	19.49	15.86	15.68	17.84
$\varepsilon$	$9.4 \times 10^{-3}$	$6.2 \times 10^{-3}$	$1.16 \times 10^{-2}$	$8.46 \times 10^{-3}$

La tabla XVI indica que predominan las olas tipo volteo, con la excepción de la estación 2, en la época seca, donde de acuerdo al parámetro teórico, existiría una rompiente tipo surging, sin embargo, debido a que el valor obtenido en el cálculo ( $4.98 \times 10^{-3}$ ), es muy próximo al límite inferior de las olas tipo volteo ( $5.1 \times 10^{-3}$ ), se deberían realizar nuevas observaciones de los datos de entrada.

De las observaciones del tipo de olas realizadas en cada estación de muestreo, se obtuvo que las olas son en mayoría del tipo volteo (plunging), en ocasiones, observándose también olas de derrame en E2 y E4, durante la época húmeda.

#### **3.1.4.1. Sólidos en suspensión en la rompiente**

Las olas tipo volteo, típicas del área, levantan menos sedimento que las tipo derrame (SPM), por lo tanto playas con menor pendiente moverán más sedimento, al formar olas de derrame.

Tanto en la época húmeda, marzo de 1995 como en la seca agosto y diciembre de 1995, se determinó la cantidad de sólidos suspendidos puestos en movimiento por la acción de las olas. En cada estación se tomaron muestras de agua utilizando botellas muestreadoras, y luego utilizando el método de filtrado, se determinó la cantidad de sedimentos por cada litro de agua de mar. Los resultados de concentración de



sólidos suspendidos se encuentran en la tabla XVII.

En la época húmeda los valores de concentración son mayores, pero no existe una tendencia definida por fases de marea, ni por estación.

La mayor concentración está en la E1, con de 14.3 mg/l, en la cuadratura de la época húmeda y la menor de 0.153 mg/l, en la misma estación en la cuadratura de la época seca. Debido a que no se encuentra una clara tendencia en la concentración de sedimentos, sería necesario realizar mediciones periódicas con la finalidad de establecer un sistema de estandarización del muestreo, corrigiendo posibles errores, pues no se puede concluir algo definitivo basándose en estas mediciones.

Por ejemplo en Las Manchas, localidad cercana a Muisne, Provincia de Esmeraldas, con promedio de altura de ola rompiente en sicigia de 0.6 m y en cuadratura de 0.4 m, se encontró concentraciones entre 270 hasta 7280 mg/l, en agosto de 1995 (estación seca). En Chanduy, Provincia del Guayas, con promedios de alturas rompientes de 0.54 m en sicigia y 0.40 m en cuadratura, se encontró concentraciones de sedimentos entre 390 y 11490 mg/l en marzo de 1996, (estación húmeda). En ambas localidades los valores

son superiores que en La Libertad, lo que se explica porque en los sitios mencionados, la pendiente de playa es suave, con olas tipo derrame y con un ancho de zona de surf muy amplio, por lo que la cantidad de sedimento arrastrado por las olas hasta llegar a la playa es mayor, pues la ola cuenta con mayor tiempo de viaje desde que rompe hasta que llega a la Línea de Costa.

Tabla XVII. Sólidos suspendidos en las cuatro estaciones de medición

a) Época Húmeda

CONCENTRACIÓN (mg/l)

	FECHA	E1	E2	E3	E4
Cuadratura	09/03/1995	10.4	2.6	2.3	8.3
	10/03/1995	4.1	3.2	1.0	1.9
	11/03/1995	14.3	2.7	2.7	1.2
Sicigia	<b>Conc. Media</b>	9.6	2.8	2	3.8
	16/03/1995	7.0	9.3	7.8	5.7
	17/03/1995	1.0	4.9	2.5	4.9
	18/03/1995	3.4	4.9	3.5	18
	<b>Conc. Media</b>	3.8	6.4	4.6	9.5

b) Época Seca

CONCENTRACION (mg/l)

	FECHA	E1	E2	E3	E4
Cuadratura	4/08/95	-	3.0	-	-
	5/08/95	0.2	4.0	2.6	0.8
	6/08/95	1.1	2.4	4.2	0.2
	<b>Conc. Media</b>	0.6	3.1	3.4	0.5
Sicigia	25/10/95	-	-	1.9	-
	26/10/95	1.7	5.6	4.3	-
	<b>Conc. Media</b>	1.7	5.6	3.1	-

### 3.1.5. Refracción de Olas

Para realizar los diagramas de refracción, que se encuentran en las figuras 3.4 y 3.5, se utilizaron los períodos más significativos de las mediciones realizadas por INOCAR, que corresponden a 14 y 16 s, ingresando al mapa IOA 10520, con una altura de olas de 1.4 m en el veril de 200 m, que corresponde a aguas profundas y con tres diferentes ángulos de incidencia

Los ángulos de incidencia elegidos fueron de 210, 280 y 320 °C. En la tabla siguiente, se encuentran los índices de refracción ( $K_r$ ), para cada ángulo de ingreso, los mismos que se obtuvieron luego de realizar los diagramas de refracción de olas.

**Tabla XVIII.- Índice de refracción ( $K_r$ )**

Período (s)	Dirección (Grados magnéticos)		
	210	280	320
14	0.6	0.68	0.8
16	0.7	0.74	0.69

Hay que anotar, que de acuerdo a mapas de dirección de olas que se obtuvieron a través de internet, ([http://152.80.49.210/PUBLIC/WAM/all\\_spac.html](http://152.80.49.210/PUBLIC/WAM/all_spac.html)) la dirección predominante de la entrada de las olas corresponde al ángulo de  $210^\circ$  magnéticos, lo cual se lo puede observar en la figura 3.6, y corresponden, a meses de ambas estaciones.

De acuerdo a estos mapas, la dirección predominante corresponde a la del suroeste, para esta dirección el coeficiente de refracción es de 0.60 y 0.7, valores que nos darían una atenuación por efecto de la refracción entre 0.9 y 1.13 m, este valor es elevado para los observados, por lo que sería necesario realizar mediciones consecutivas de al menos un año para conocer el comportamiento real del oleaje, pues en los meses de mediciones se observaron olas relativamente bajas en altura, tanto en el veril de los 13 m, (numeral 2.1.1.1, capítulo 2), como en las alturas de olas rompientes (tabla XIII).

Fig. 3.4 - DIAGRAMA DE REFRACCION

PERIODO 14.5

DIRECCIONES

1 - 210

2 - 280

3 - 320

T = 14s

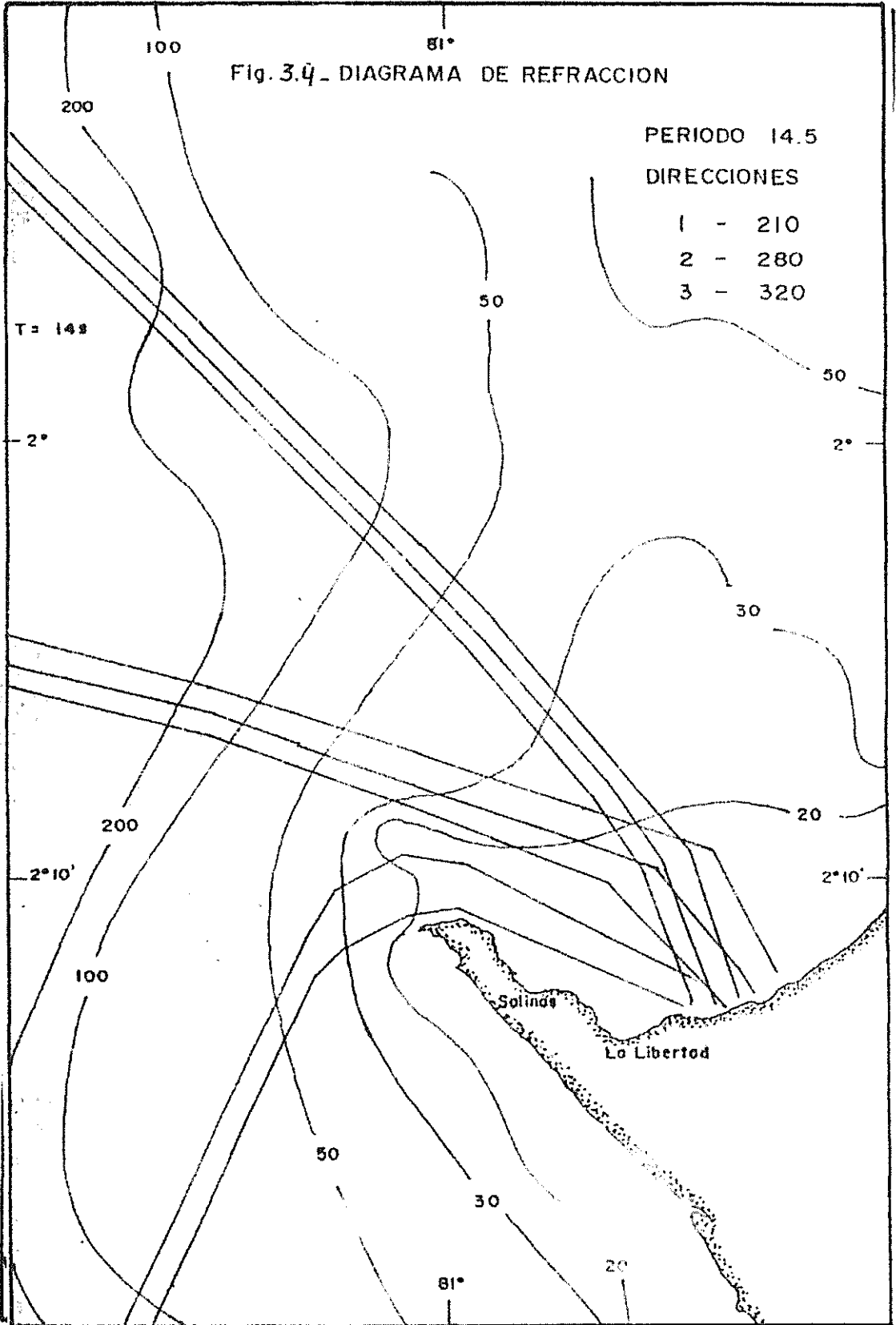
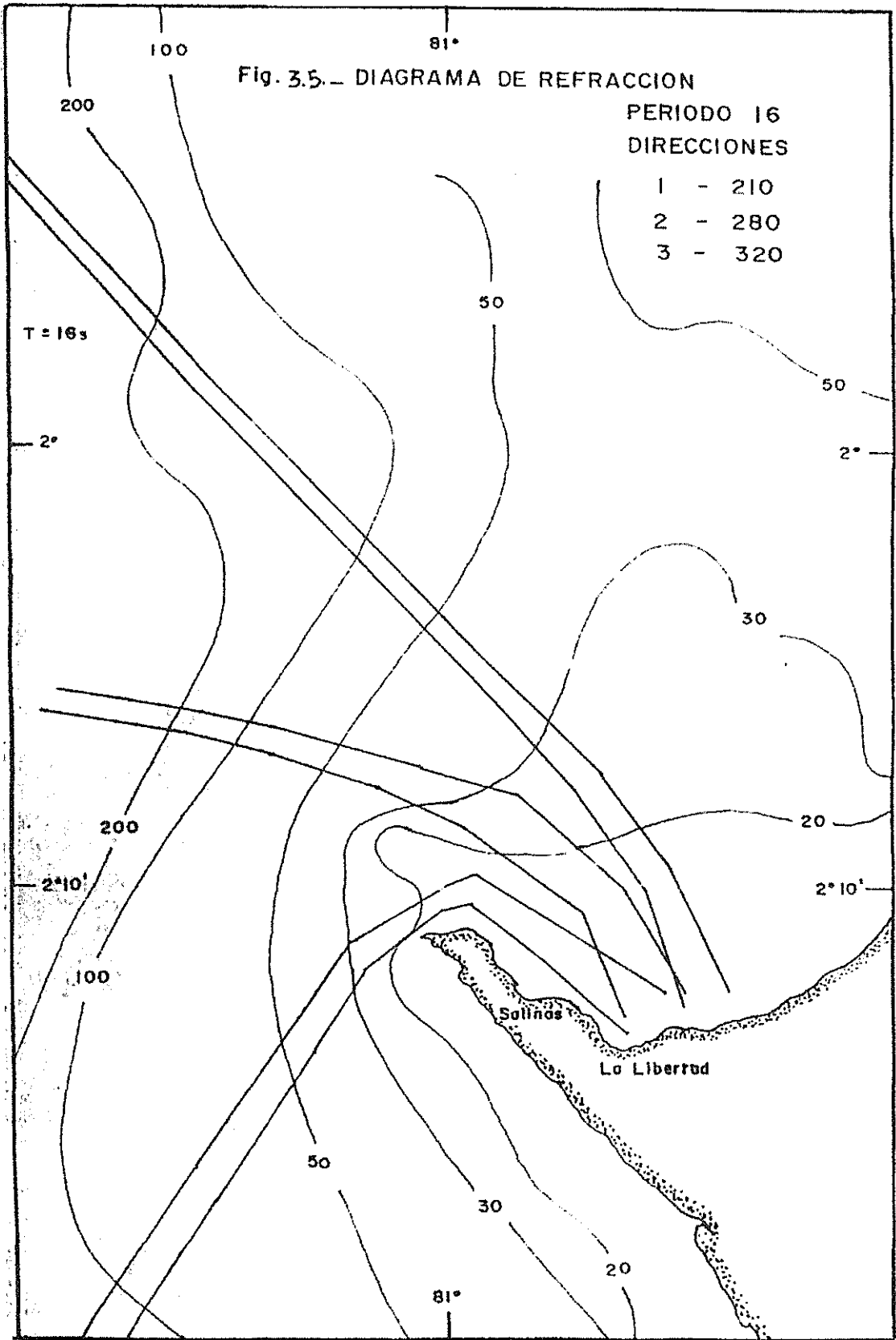


Fig. 3.5. - DIAGRAMA DE REFRACCION

PERIODO 16  
DIRECCIONES

- 1 - 210
- 2 - 280
- 3 - 320



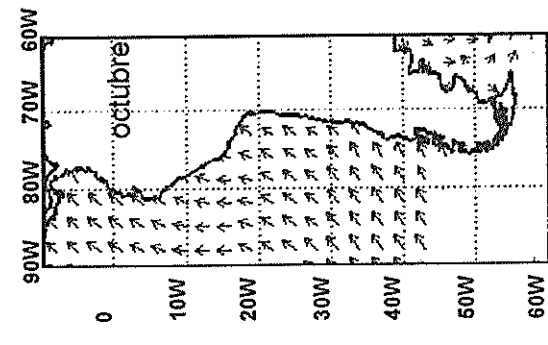
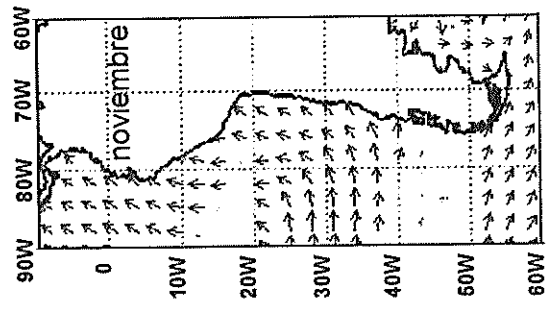
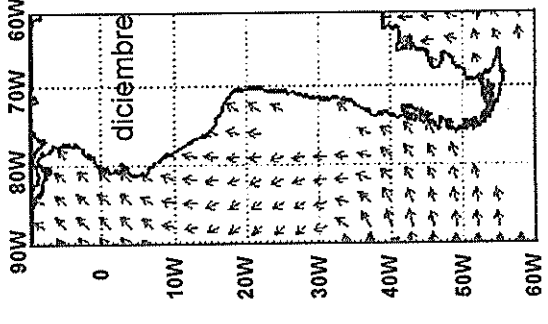
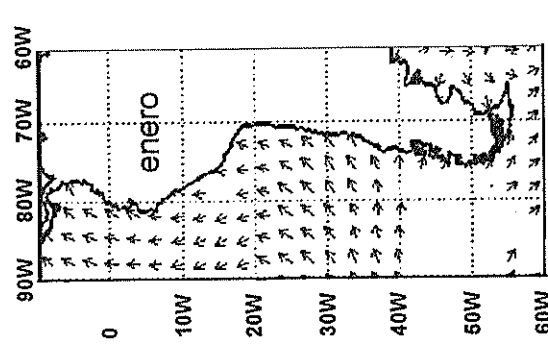
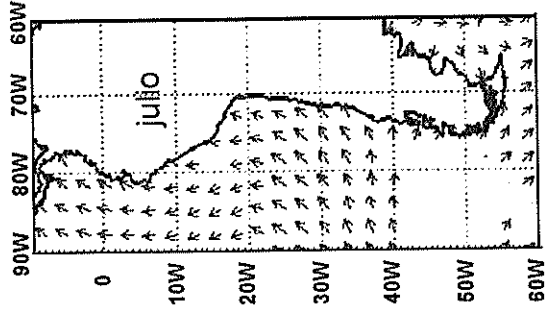
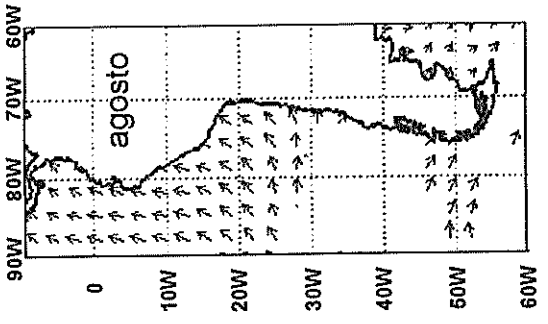


Figura 3.6.- Dirección de las olas en distintos meses del año

Fuente: [http://152.80.56.202/wam/all\\_spac.html](http://152.80.56.202/wam/all_spac.html)



### 3.2. Corriente Litoral

Las corrientes litorales constituyen el principal agente formador y destructor de playas, las cuales se producen cuando las olas se aproximan a la costa formando un ángulo, y son factor principal en la dirección y magnitud del movimiento de sedimentos, (Sánchez, 1978). Esta corriente fluye paralela a la línea de costa y está restringida a la zona entre la rompiente y la línea de costa y aunque es de velocidades bajas, (Shore Protection Manual) es muy importante en los procesos costeros al viajar a lo largo de la costa, transportando sedimento levantado por las rompientes.

Para este estudio se realizaron mediciones de corrientes litorales en las cuatro estaciones, durante el mes de marzo, estación húmeda; y en los meses de agosto y octubre, época seca. Para facilitar la comprensión de los datos de corrientes presentados en las tablas se estableció que las corrientes que van hacia el este o derecha de un observador mirando hacia el mar tengan signo positivo y los que van hacia el oeste o izquierda del observador signo negativo.

En la época húmeda, las velocidades tienen componentes, tanto hacia el este como al oeste, en cuadratura las magnitudes de las corrientes alcanzan un máximo de 0.51 m/s, mientras que en sicigia un máximo de 0.54 m/s y en general las velocidades son mayores, con una tendencia más definida de la velocidad de dirigirse hacia el este, con excepción de la estación 4, cuya resultante es hacia el oeste. La estación 4 es la que en general posee los valores de velocidad

menores, ver tabla XIX.

En la época seca, la cuadratura tiene corrientes entre 0.01 y 0.26 m/s y la sicigia entre 0.02 y 0.49 m/s. La dirección predominante en todas las estaciones es hacia el oeste. La sicigia tiene valores de velocidad mayores a las de la cuadratura. Las estaciones 1 y 2 tienen los menores valores, ver tabla XX.

En general, se puede concluir, que tanto la fase de la marea, como la época del año, interfieren en el comportamiento de la velocidad litoral, pues tanto en la sicigia como en la época húmeda las magnitudes son mayores, así mismo la dirección presenta variaciones más marcadas en épocas húmedas. El transporte de sedimentos está primordialmente dirigido hacia el este en toda el área, sin dejar de considerar las componentes litorales hacia el oeste, que son las que mantienen el equilibrio de la playa.

Tabla XIX. Corrientes Litorales en La Libertad durante la época húmeda

VELOCIDADES (m/s)											
CUADRATURA						SICIGIA					
FECHA ddmmaa	HORA	E1	E2	E3	E4	FECHA ddmmaa	HORA	E1	E2	E3	E4
09/03/95	09:00	-	0.13	0.21	-0.04	16/03/95	08:00	0.13	0.21	-0.31	-
	10:00	-	0.03	-0.23	-0.07		09:00	-0.12	-0.09	-0.15	-0.17
	11:00	0.13	0.23	-0.14	0.07		10:00	-0.16	-0.11	0.06	-
	12:00	0.19	0.18	0.28	-0.05		11:00	0.07	<b>0.54</b>	0.15	0.09
	13:00	0.18	0.17	0.08	-0.09		12:00	0.19	0.03	-0.05	-0.11
	14:00	-0.11	0.26	0.36	-0.05		13:00	0.11	0.36	0.10	-0.16
	15:00	-0.16	<b>0.51</b>	0.23	-0.06		14:00	0.20	-0.03	0.31	0.05
	16:00	0.08	0.23	-0.02	-0.06		15:00	0.14	0.41	0.04	-
10/03/95	08:00	0.46	0.06	-0.16	<b>0.01</b>	17/03/95	16:00	0.1	0.01	0.06	-
	09:00	-	-0.08	-0.05	0.04		08:00	0.15	-0.17	-0.08	0.11
	10:00	-	-0.10	-0.14	-0.02		09:00	-0.22	0.09	-0.05	-0.09
	11:00	0.16	-0.14	0.04	-0.16		10:00	-0.13	0.03	-0.19	-
	12:00	0.10	-0.20	0.21	-0.13		11:00	0.15	0.12	0.31	0.09
	13:00	0.05	0.11	0.09	-0.01		12:00	-0.11	-0.15	0.12	-0.08
	14:00	-0.06	-0.05	0.13	0.04		13:00	0.40	-	0.22	0.11
	15:00	0.06	0.34	-0.03	-0.08		14:00	0.32	0.20	-0.11	0.08
16:00	0.13	0.18	0.20	-0.04	15:00	-	-	0.04	0.19		
11/03/95	08:00	-0.24	-0.04	-0.04	0.01	18/03/95	08:00	-	-0.03	0.22	-
	09:00	-0.24	-0.03	-0.14	-0.05		09:00	0.16	-0.09	-0.09	-0.10
	10:00	-0.17	0.01	-0.01	0.04		10:00	-0.27	-0.12	0.04	0.04
	11:00	-	0.01	-0.11	-0.01		11:00	0.23	0.09	0.47	-0.06
	12:00	-0.10	0.22	0.03	0.04		12:00	-0.15	0.14	-0.09	0.09
	13:00	-0.19	-0.18	0.05	0.04		13:00	0.17	-0.02	-	0.06
	14:00	-0.10	0.08	0.03	0.11		14:00	0.20	-0.07	-	0.05
	15:00	0.07	-0.18	0.08	0.07		15:00	0.33	0.32	0.25	-
16:00	0.05	0.03	0.10	0.04	16:00	-	-	0.35	-		
vel. Prom. (+)		0.12	0.18	0.14	0.05	vel..prom. (+)		0.20	0.20	0.17	0.09
vel. Prom. (-)		0.15	0.11	0.08	0.06	vel. Prom. (-)		0.17	0.09	0.09	0.10

Tabla XX: Corrientes Litorales en La Libertad durante la época seca

VELOCIDADES (m/s)											
CUADRATURA						SICIGIA					
FECHA	HORA	E1	E2	E3	E4	FECHA	HORA	E1	E2	E3	E4
4/08/95	08:00		0.10			27/06/95	13:00		-0.06		
	09:00		-0.02				14:00			0.02	-0.02
	10:00		0.05			25/10/95	08:00	0.06	-0.10	0.09	0.11
	11:00		0.10	0.17	0.10		09:00	0.04	0.09	0.29	0.18
	12:00	0.04	0.04	0.15	0.07		10:00	0.08	0.14	0.25	0.18
	13:00	0.03	0.04	0.18	0.04		11:00	0.16	0.10	0.11	0.28
	14:00	0.05	0.02	0.25	0.18		12:00	0.17	0.07	0.15	0.39
	15:00	-0.10	0.07		<b>0.26</b>		13:00	0.07	0.12	0.28	0.14
5/08/95	09:00		-0.02	0.09			14:00	0.12	0.21	0.23	-0.10
	10:00		-0.05	0.07	-0.09		15:00	0.25	-0.10	0.22	0.15
	11:00		0.01	0.09	-0.02	16:00	0.17	0.12	0.25	0.25	
	12:00		0.10	0.03	0.08	26/10/95	08:00	-0.27	0.09	0.19	0.09
	13:00	0.06	-0.01	0.09	0.03		09:00	-0.22	0.16	0.18	0.07
	14:00	-0.02	0.03	0.08	-0.02		10:00	-0.13	0.13	0.15	0.14
	15:00	0.06	0.04	0.11	0.05		11:00	0.07	0.20	0.18	0.08
	16:00	-0.03	0.04	0.19	-0.01		12:00	0.08	-0.18	<b>0.49</b>	0.13
6/08/95	09:00		0.03	0.01	-0.10		13:00	0.07	0.25	0.18	0.11
	10:00		0.06	0.16	0.24		14:00	0.14	0.15	0.21	0.42
	11:00		0.06	0.26	0.03		15:00	0.15	0.10	0.38	0.07
	12:00		0.07	0.22	0.05	16:00			0.20	0.42	
	13:00		0.01	0.25	0.04	Vel..prom. (+)	0.12	0.14	0.21	0.19	
	14:00		0.13	0.23	-0.14	Vel. Prom. (-)	0.21	0.11	-	0.06	
	15:00	0.02	0.03	0.08	0.11						
Vel. Prom. (+)		0.04	0.05	0.14	0.10						
Vel. Prom. (-)		0.05	0.02	-	0.06						

En la figura 3.7, se ha graficado el comportamiento de la corriente litoral para el 5 de agosto de 1995, que predomina hacia el este, teniendo las estaciones 1, 3 y 4 componentes hacia el oeste.

### 5 de agosto de 1995

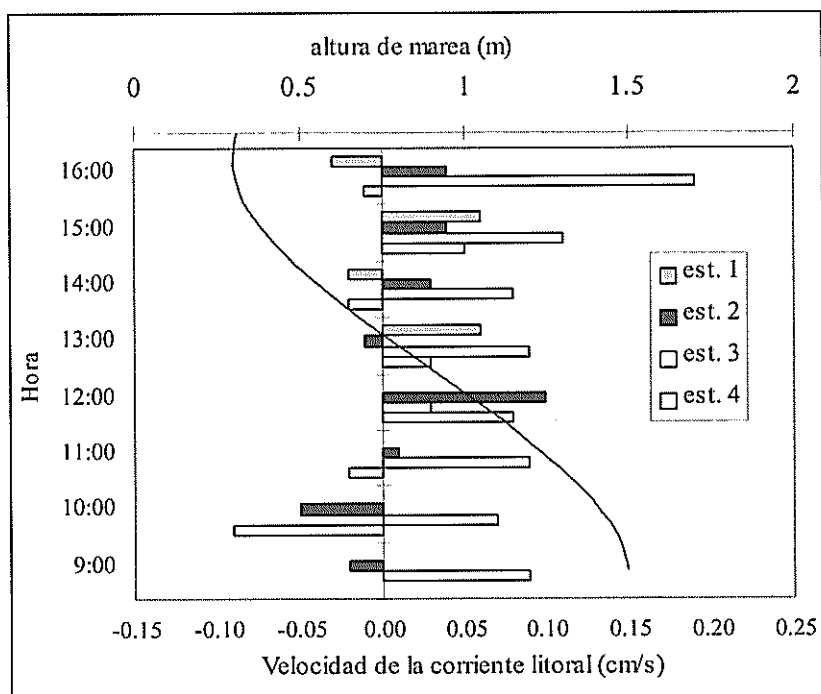


Fig. 3.7. Corrientes Litorales en las 4 estaciones de medición

También se obtuvieron velocidades de corriente litoral en forma teórica con la fórmula que se presenta a continuación y cuyos valores se encuentran en la tabla XXI.

$$V = 2.7 * u_m * \text{sen } \alpha_b \quad (\text{Komar e Inman})$$

$$u_m = \left( \frac{2 * E_b}{\rho h_b} \right)^{1/2} \quad \text{y} \quad E_b = \frac{1}{8} \rho g H_b^2$$

**Tabla XXI.- Corrientes Litorales teóricas**

	E1	E2	E3	E4
<b>Época seca</b>				
$\alpha_b$ (grados mag.)	20	10	30	20
$H_b$ (m)	0.31	0.32	0.29	0.36
VI (m/s)	0.63	0.33	0.87	0.74
<b>Época húmeda</b>				
$\alpha_b$ (grados mag.)	30	15	20	25
$H_b$ (m)	0.35	0.57	0.70	0.44
VI (m/s)	1.04	0.88	1.43	1.11

En general las velocidades teóricas son mayores a las obtenidas en el campo, lo que se explica debido a las condiciones en el momento de las mediciones, pues las fórmulas teóricas, idealizan los efectos físicos, por lo que se requiere realizar mediciones continuas para verificar los valores obtenidos en el campo y con el propósito de realizar las correcciones pertinentes.

### 3.3. Cálculo del Transporte Litoral

Se denomina transporte litoral al movimiento de partículas en la zona costera producido por olas y corrientes (Shore Protection Manual, 1984), se lo ha clasificado de dos formas: transporte perpendicular y transporte paralelo a la línea de costa. En la zona de rompientes gran cantidad del sedimento, sea de fondo o en suspensión, es transportado por la acción de olas y de corrientes litorales, sin embargo, el mecanismo del transporte neto del sedimento no se conoce absolutamente.

En estudios costeros y trabajos de ingeniería efectuados, lo más práctico ha sido establecer la razón del transporte paralelo a la costa, pues la complejidad en cada uno de los procesos, se reduce, mediante consideraciones simples, al usar la teoría de pequeña amplitud de olas; la que es aplicada en el cálculo del transporte a lo largo de la línea de costa. Para el cálculo del transporte perpendicular, se necesita un tratamiento de alto orden.

Al calcular el transporte litoral se usaron los siguientes métodos: método mejorado de Komar (1976), con base en ecuaciones de Bagnold y desarrolladas en su modelo energético del transporte de arena en las playas; el modelo de Cerc y el cálculo de transporte bruto de sedimentos de Galvin, el que proporciona un valor máximo de transporte, basándose en la altura de olas rompientes únicamente.

Las alturas y las velocidades de la corriente litoral usadas, son promedios de las mediciones en cada estación, tanto en cuadratura

como en sicigia, por lo que cada estación tiene un promedio para la época seca y otro para la húmeda. En los cálculos no se ha considerado dirección de velocidades, por lo que los resultados, representan el valor de transporte bruto. Los parámetros utilizados en las ecuaciones son:

Densidad del agua de mar ( $\rho$ )	: 1025 Kg/m <sup>3</sup>
Densidad del sedimento ( $\rho_s$ )	: 2650 Kg/m <sup>3</sup>
Índice de rompiente ( $\gamma$ )	: 0.8 adimensional
$h_b$ profundidad en la rompiente	: 0.50 m
g (aceleración de la gravedad)	: 9.8 m/s <sup>2</sup>
$a'$ (factor de porosidad de la arena)	: 0.6
$K'$ = Coeficiente adimensional de Komar	: 0.28

### Método de Komar:

$$Q_s = \frac{I_s}{((\rho_s - \rho)ga')}$$

$$I_s = \frac{K'(EC_b v_1)}{u_m \cos \alpha_b}$$

$$E_b = \left(\frac{1}{8}\right) \rho g H_b^2$$

$$c_b = \sqrt{gh_b} \quad u_m = \left(\frac{2 * E_b}{\rho h_b}\right)^{1/2}$$

$Q_s$ , transporte litoral (m<sup>3</sup>/s),

$I_s$ , razón de transporte del peso sumergido (N/s)

$E_b$ , energía del oleaje en la rompiente.

$C_b$ , velocidad de grupo de olas en la rompiente

$v_1$ , velocidad promedio de corriente litoral medida en el campo



$u_m$  , máxima velocidad orbital en la rompiente

$H_b$  , altura de la ola rompiente

### **Método de Cerc:**

$$S = AU'$$

$$U = Ec_g$$

$$U' = U \operatorname{sen} \alpha_b \operatorname{cos} \alpha_b$$

$$U' = Ec_g \operatorname{sen} \alpha_b \operatorname{cos} \alpha_b$$

$$S = 0.040(H_s)_b^2 c_b \operatorname{sen} \alpha_b \operatorname{cos} \alpha_b$$

S : Transporte Litoral en m<sup>3</sup>/s

A Coeficiente u factor de conversión

U' componente de la energía de flujo de energía entrando a una longitud igual a una unidad de longitud de la zona de rompiente

E, energía de la ola

Cg, velocidad de grupo de la ola

Hs, altura significativa de ola (m)

### **Método de Galvin:**

$$Q_g = 16.5H_b^2 \times 10^5$$

Q<sub>g</sub>: Transporte Litoral bruto (m<sup>3</sup>/año)

La tabla XXII presenta los valores del transporte resultados de la aplicación de las fórmulas indicadas. En la época seca las estaciones 3 y 4 son las de mayor transporte, y en la época húmeda las estaciones 2 y 3. En general, los resultados indican que en época húmeda el transporte es mayor.

Tabla XXII. Cálculo del Transporte de Sedimento ( $m^3/s$ )

	Hb	vl	Komar	Cerc
<b>Época seca</b>				
<b>e1</b>	0.31	0.078	$9.47 \times 10^{-4}$	$8.648 \times 10^{-4}$
<b>e2</b>	0.32	0.096	$1.15 \times 10^{-3}$	$4.900 \times 10^{-4}$
<b>e3</b>	0.29	0.178	$2.19 \times 10^{-3}$	$1.020 \times 10^{-3}$
<b>e4</b>	0.36	0.1445	$2.04 \times 10^{-3}$	$1.167 \times 10^{-3}$
<b>Época húmeda</b>				
<b>e1</b>	0.35	0.1575	$2.34 \times 10^{-3}$	$1.485 \times 10^{-3}$
<b>e2</b>	0.57	0.185	$4.02 \times 10^{-3}$	$2.274 \times 10^{-3}$
<b>e3</b>	0.7	0.1535	$4.21 \times 10^{-3}$	$4.410 \times 10^{-3}$
<b>e4</b>	0.44	0.0685	$1.22 \times 10^{-3}$	$2.076 \times 10^{-3}$

Para los cálculos anuales, se ha considerado 6 meses de estación seca y 6 meses de estación húmeda, En la tabla XXIII, se observa que Galvin da los máximos valores de transporte de sedimentos, pudiendo considerar los mismos como el límite superior. Por razones de análisis o estudios realizados en otros lugares (Piedra, 1988) se asume que Komar nos da la mejor información sobre el transporte de sedimentos

**Tabla XXIII. Transporte anual de sedimentos en las cuatro estaciones m<sup>3</sup>/año (V)**

	Est. 1	Est. 2	Est. 3	Est. 4
<b>Galvin</b>	193558.75	366602.5	485196.25	284460
<b>Komar</b>	51859.34	81436.47	100923.47	51412.40
<b>Cerc</b>	37055.43	43592.53	85607.33	51128.70

Para establecer pérdidas o ganancias de sedimentos entre estaciones, se realiza la diferencia entre el sedimento que entra y el que sale. Entre E1 - E2 y E2 - E3, existe pérdida de material, es decir erosión. Entre E3 y E4, existe ganancia de material o acreción. Figura 3.8

De acuerdo a Komar:

$$V1 = 51859.34 \text{ m}^3/\text{año} \quad V3 = 100923.47 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$V2 = 81436.47 \text{ m}^3/\text{año} \quad V4 = 51412.40 \text{ m}^3/\text{año}$$

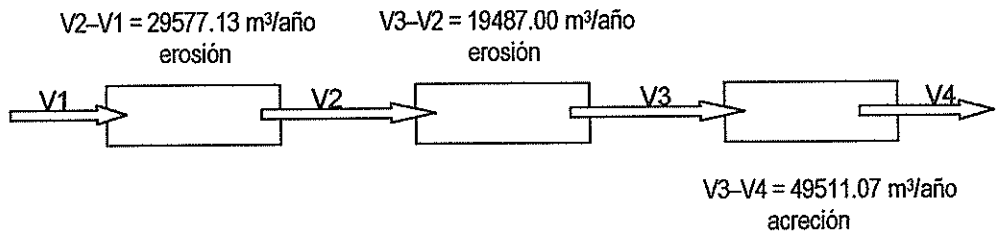


Figura 3.8.- Volumen transportado las cuatro estaciones de medición

Si se considera que la influencia del transporte litoral alcanza 200 m mar adentro y con la distancia entre estaciones conocida, se obtiene el área de influencia entre estaciones. Entonces conocido el volumen desplazado y el área correspondiente, obtenemos la altura de erosión o acreción anual entre estaciones. En la figura 3.8, se observa el volumen idealizado entre estaciones. En la tabla XXIV, se presentan los valores de alturas para cada método.

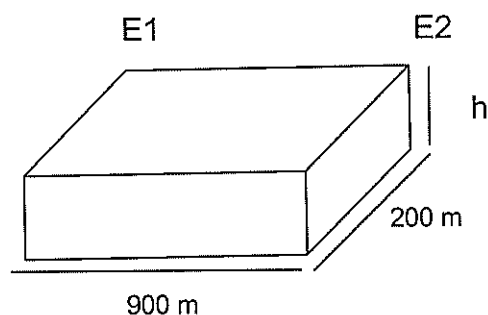


Figura 3.9.- Volumen idealizado de transporte de sedimentos

Tabla XXIV.- Alturas de erosión o acreción entre estaciones (h)

	E1 – E2	E2 –E3	E3 – E4
distancia entre estaciones (m)	900	800	1400
reas (m <sup>2</sup> )	180013.42	160021.80	280027.23
(Galvin) m <sup>3</sup> /año	173043.75	118593.75	200736.25
(Komar) m <sup>3</sup> /año	29577.13	19487.00	49511.07
(Cerc) m <sup>3</sup> /año	6537.10	42014.80	34478.63
(Galvin) m	0.96	0.74	0.72
(Komar) m	<b>0.16</b>	<b>0.12</b>	<b>+ 0.18</b>
(Cerc) m	0.04	0.26	0.12

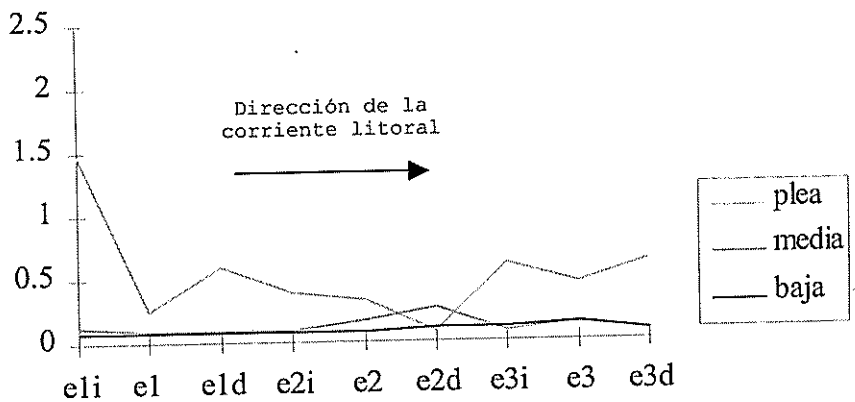
+ Acreción entre estaciones

### 3.3.1. Distribución del sedimento a lo largo de la Línea costera

La distribución del sedimento se relaciona con los procesos de erosión y depositación, la dirección predominante del transporte también se puede deducir a partir de la distribución del tamaño de los sedimentos a lo largo de la línea de costa, la dirección de la velocidad de la corriente litoral suele ser desde lugares donde el tamaño de los sedimentos es mayor hacia aquellos donde es menor. En la figura 3.8, se indica el

diámetro del sedimento, donde se ha incluido la distribución del sedimento para una fecha de muestreo y la tendencia que la dirección del transporte presenta en la zona.

Octubre de 1995



**Figura 3.10. Distribución del sedimento de acuerdo a su tamaño de grano**

Las arenas de mayor tamaño están en la estación 1 y sus alrededores, especialmente en la línea de pleamar. En la estación 1, de material rocoso, el material es más grueso y avanzando hacia el este, el tamaño del material pasa de mediano a fino, lo que induce a suponer que la dirección del transporte es hacia el este, observándose esta tendencia muy claramente en el sector comprendido entre e1 y e3, pues el sedimento progresivamente se ha clasificado de mayor a menor

diámetro, predominando los tamaños finos en las zonas protegidas naturalmente y de poca actividad energética en el oleaje.

Luego de revisar los resultados obtenidos en los puntos anteriores se deduce que el transporte está primordialmente dirigido hacia el este, sin dejar de considerar las componentes litorales hacia el oeste, que sirven para mantener el equilibrio.

### **3.4. Correlación de Parámetros**

Para conocer la relación existente entre los diferentes parámetros analizados en esta tesis, se realizó la correlación de los mismos, la que se mostrará más adelante. También se realizaron análisis gráficos con aquellos parámetros con cuya densidad de datos no permitió realizar las correlaciones respectivas.

Además de conocer que la dirección de las corrientes litorales está directamente relacionada con el ángulo de aproximación de las olas a la costa, es necesario conocer el tipo de relación existente entre la dirección de las corrientes litorales y el estado de marea y la presencia de vientos en la zona. Los valores que contribuyen especialmente a la configuración de la playa son las olas y las corrientes litorales, por lo que con el objetivo de determinar las relaciones existentes entre los diferentes parámetros, se realizaron análisis de información con el propósito establecer correlaciones.

### **3.4.1. Correlación entre Altura de olas y vientos**

Las alturas de olas examinadas corresponden al veril de los 13 m y los vientos a las mediciones de la estación fija de La Libertad. Para la obtención de los coeficientes de correlación se dividió a las series en época seca y época húmeda. Los coeficientes de correlación fueron bajos, para la estación seca de -0.19 y para la estación húmeda de 0.07, es decir que la dirección del viento no tiene incidencia. En la figura 3.11, se muestra la relación entre los datos de alturas y vientos.

Las bajas correlaciones entre vientos locales y altura de olas, corrobora la teoría de que las olas frente a nuestras costas son provocadas por tormentas lejanas y no por vientos locales, los cuales solamente contribuyen en la formación de olas de alturas pequeñas.

### **3.4.2. Correlación entre vientos y corrientes en el veril de los 13 m.**

De la misma manera, al correlacionar las series de corrientes en el veril de los 13 m y vientos, las correlaciones encontradas fueron bajas, para la estación seca de 0.077 y para la estación lluviosa de 0.023. Estos resultados se explican porque las corrientes consideradas corresponden casi al fondo del agua, en donde la acción de los vientos no ejerce influencia. En la figura 3.12, se muestra la relación existente entre los parámetros descritos

### **3.4.3. Correlación entre dirección de vientos y corrientes litorales**

Los vientos predominantes en la época de observación, 9, 10 y 11 de marzo de 1995, provienen del oeste y del norte, los mismos que inducen a la corriente hacia el sureste, desplazada 30 grados a la izquierda de la dirección del viento de acuerdo a Ekman. y como se observó anteriormente el transporte litoral ocurre en la dirección este, se confirma la relación entre las corrientes litorales y la dirección del viento. De acuerdo a los máximos valores de velocidad, 5 m/s, se deduce que éstos, no provocan corrientes de gran magnitud en la zona.

### **3.4.4. Correlación entre las mareas y las corrientes litorales**

Las mareas y las corrientes litorales se correlacionan con altos índices, en el mes de marzo del 1995 se encontraron correlaciones de hasta 0.78. La estación 4, es un caso especial, pues en ninguno de los días de observación, mostró una correlación mayor a 0.47.

Estación 1.- 0.78

Estación 2.- 0.62

Estación 3.- 0.62

Estación 4.- 0.45



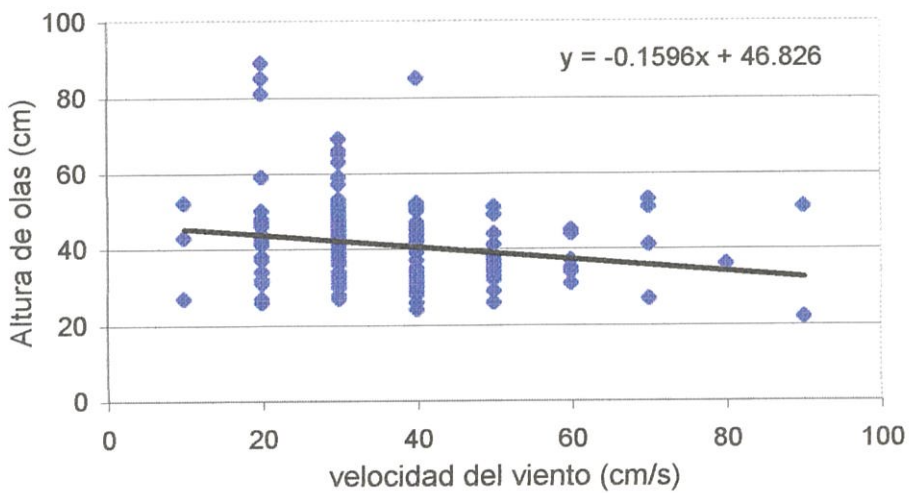


Figura 3.11a. Correlación entre olas y vientos época seca

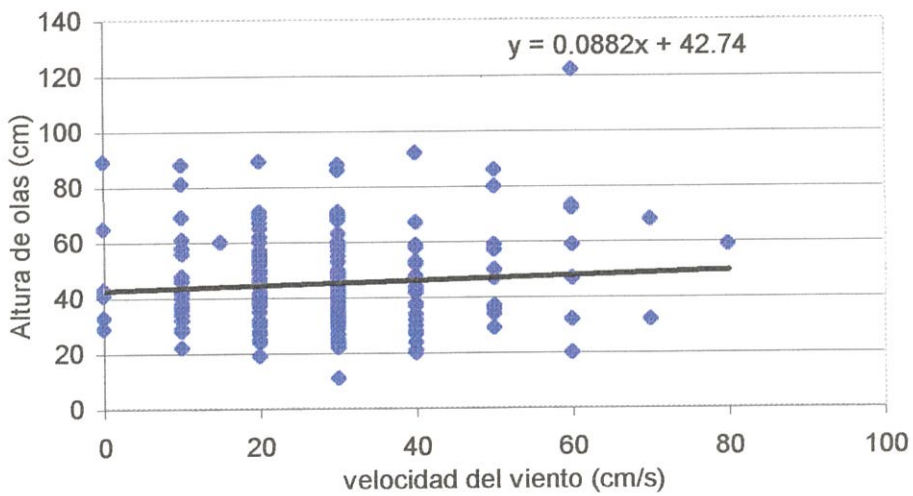


Figura 3.11b. Correlación entre olas y vientos época húmeda

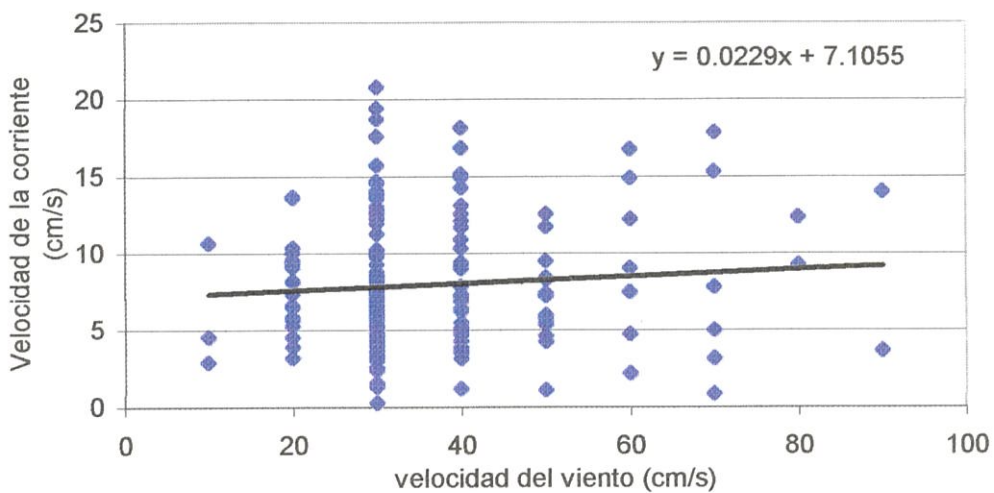


Figura 3.12.a. Correlación entre corrientes y vientos época seca

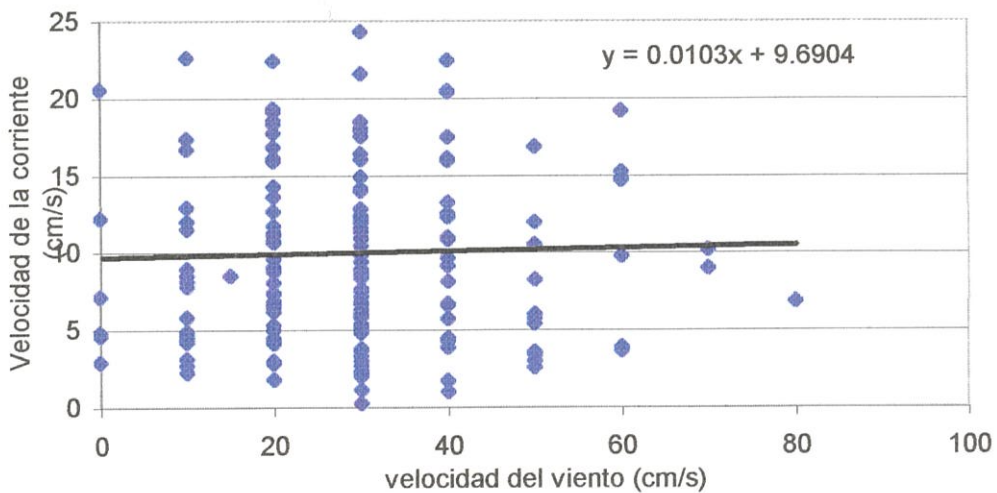


Figura 3.12.a. Correlación entre corrientes y vientos época húmeda

### 3.5. Impactos de los procesos costeros en la Línea de Costa

Los procesos litorales ocurren como resultado de la acción combinada de vientos, olas, corrientes, mareas, movimiento del sedimento y otros tipos de fenómenos que ocurren sobre la zona costera. Una playa puede mantenerse estable, erosionarse o crecer, siendo los dos últimos procesos los que ocasionan graves problemas en las zonas afectadas. En el capítulo anterior se realizó la recopilación de cada uno de estos factores que de acuerdo a su forma de acción le proporcionan características litorales únicas a esta zona costera.

Los mayores factores que provocan impactos sobre la zona costera, son las olas, aguajes y marejadas, estas últimas ocurren en condiciones extremas como ante la ocurrencia de un evento océano atmosférico o ante la ocurrencia de tormentas en el Pacífico Central, desde donde generalmente proviene el oleaje incidente en esta zona.

La zona de La Libertad, al igual que otras playas del Litoral ecuatoriano fue severamente afectada en los años 1982-1983, cuando ocurrió el fenómeno del Niño. En la serie de fotografías de ese año (figura 3.13), tomadas el día en que ocurrieron los máximos oleajes, se puede apreciar olas de varios metros de altura, que sobrepasan los promedios registrados en el banco de datos de INOCAR, de donde se conoce que la altura promedio de las olas no llega al metro.

Siguiendo la secuencia fotográfica se observa la destrucción dejada por el fuerte oleaje en el malecón de La Libertad, el cual hasta no ha sido restaurada en su totalidad, se observa el estado de destrucción

en que quedó El Malecón, luego del azote del fuerte oleaje, que en suma fue el principal causante de los daños ocasionados.

Las fotos fueron tomadas durante el evento de el Niño 1997-1998, (figura 3.14), siendo el oleaje fuerte, provocando destrucción en la zona de playa y urbana.

En estas fotografías todavía quedan rezagos de lo que fue la destrucción del malecón y de algunas construcciones cerca de la línea de costa, esta área es muy dinámica y en marea alta la calle del Malecón es atacada por la acción de las olas. Hasta la fecha las construcciones ubicadas frente a la playa sufren el constante acoso de las marejadas, muchas de las casas de esos lugares han sido abandonadas por el temor a que sean arrasadas por el mar.

El nivel del mar también aumenta con un evento anómalo como el Niño, ocasionando erosión o sedimentación y provocando un cambio en la línea de costa, lo que resulta muy peligroso pues si aumenta el nivel del mar, se inundarían tierras de uso de tierra humana, ya sean tierras de siembra o de vivienda, lo que ocurrió en La Libertad, pues en el año en mención La Libertad se inundó y provocó innumerables daños.

## 2.1.4.- Nivel del Mar y Cambios Climáticos

### 2.1.4.1. Nivel del mar

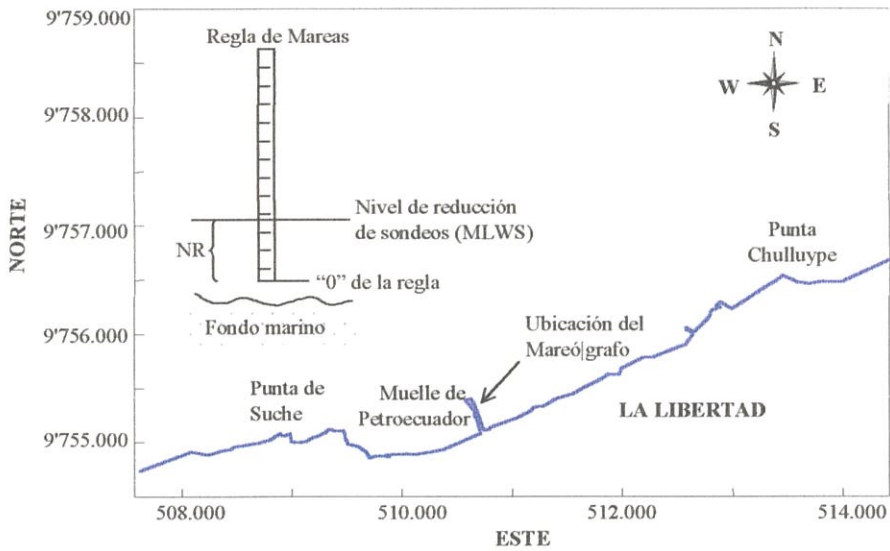
Es muy importante monitorear constantemente el nivel del mar, pues un aumento del mismo puede ocasionar impactos de diferentes clases produciendo un cambio en el comportamiento natural de los procesos costeros. Los principales cambios físicos que podrían ocurrir son: cambios en la línea de costa, sea por procesos de erosión o de crecimiento, variación en la amplitud y frecuencia de las mareas, entrada de agua hacia tierras planas, cambios en la salinidad del agua superficial. Todo esto trae como consecuencia, pérdidas de valores económicos a través de pérdida de tierras y de ambientes costeros típicos, incremento del riesgo de inundación y otros impactos relacionados con cambios en el uso del agua. En general se asume que las pérdidas ocurrirán gradualmente en proporción al aumento del nivel del mar.

Aumentos del nivel del mar, equivalentes a 1 cm, pueden resultar en un retroceso de la línea de costa en 1 m. (Brunn,1962), afectando a los centros poblados

que no podrán resistir el impacto de las olas.

Durante la ocurrencia de El Niño 82-83 se experimentaron procesos destructivos cuando algunos balnearios perdieron temporalmente sus playas especialmente durante las horas de las pleamares, mientras que muchas poblaciones sufrieron la destrucción de malecones y viviendas. Una elevación del nivel del mar, afectaría severamente a las estructuras costeras durante el invierno, épocas en que se presentan con mayor frecuencia olas altas provenientes del Pacífico Norte.

Las mediciones del nivel del mar realizadas en La Libertad, están referidas a un nivel de sondaje predeterminado, el cual está relacionado con la marea más baja ocurrida en un período de tiempo establecido, conocido como MLWS, que son siglas en inglés y que significan el promedio de las más bajas mareas de sicigia. En la figura 2.28, se indica la posición de referencia del mareógrafo con las cotas respectivas. En la tabla XII, se encuentran registrados los valores medios y máximos observados durante el período de medición (1948 - 1999).



### Corte Transversal de la ubicación de la regla de mareas



BM 8 - E (1948) = 14.494 m

Posición del muelle de La Libertad  
 Latitud: 02 12' S.  
 Longitud: 80 55' W

#### Abreviaturas

- MHWS :Promedio de las más altas mareas de sicigia
- MHHW :Promedio de las pleamares en la sicigia
- MHW : Promedio de todas las pleamares
- MLW :Promedio de todas las bajamares
- MLLW :Promedio de las bajamares en cuadratura
- MLWS :Promedio de las más bajas mareas de sicigia
- BM : Placa de señalización de cota.

12.074 m

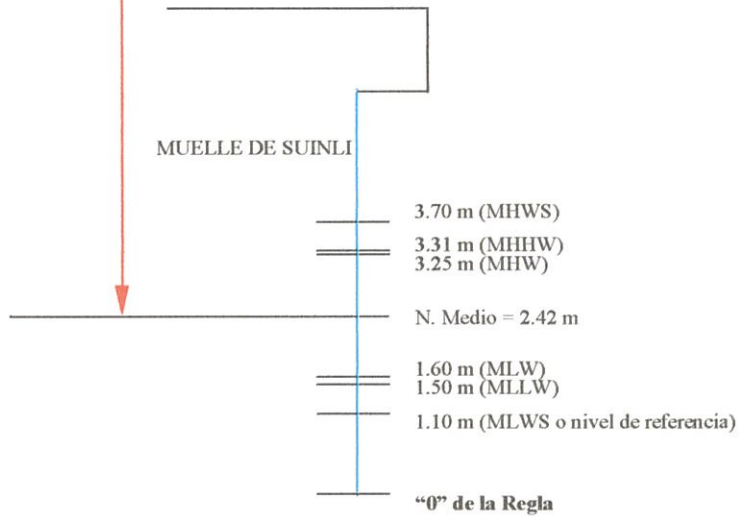


Figura 2.28. Ubicación de regla de mareas

De mediciones en La Libertad desde 1948 hasta 1999, se obtiene el gráfico de la normal del nivel medio del mar y la multianual, fig. 2.29, que se usa para comparar con gráficos en años con la presencia de algún evento oceánico-atmosférico (1982, 1983, 1997 y 1998) con años normales (1994 y 1995). Por ejemplo, en las figs. 2.30 y 2.31, se observa que a partir de setiembre/82 el nivel del mar se aleja de la normal hasta junio del 83, aumentando un máximo de 32 cm. en mayo/83. En las figuras 2.32 y 2.33, correspondiente a los años 97 y 98, el comportamiento es parecido. En años normales, por ejemplo en 1994, figura 2.34, el nivel del mar permanece cerca a la normal, para disminuir en 23 cm en agosto y septiembre y ponerse nuevamente cerca de la normal. En la figura 2.35, 1995, se observa que casi todo el año el nivel del mar se encuentra debajo de la normal con un máximo de 13 cm en el mes de diciembre.



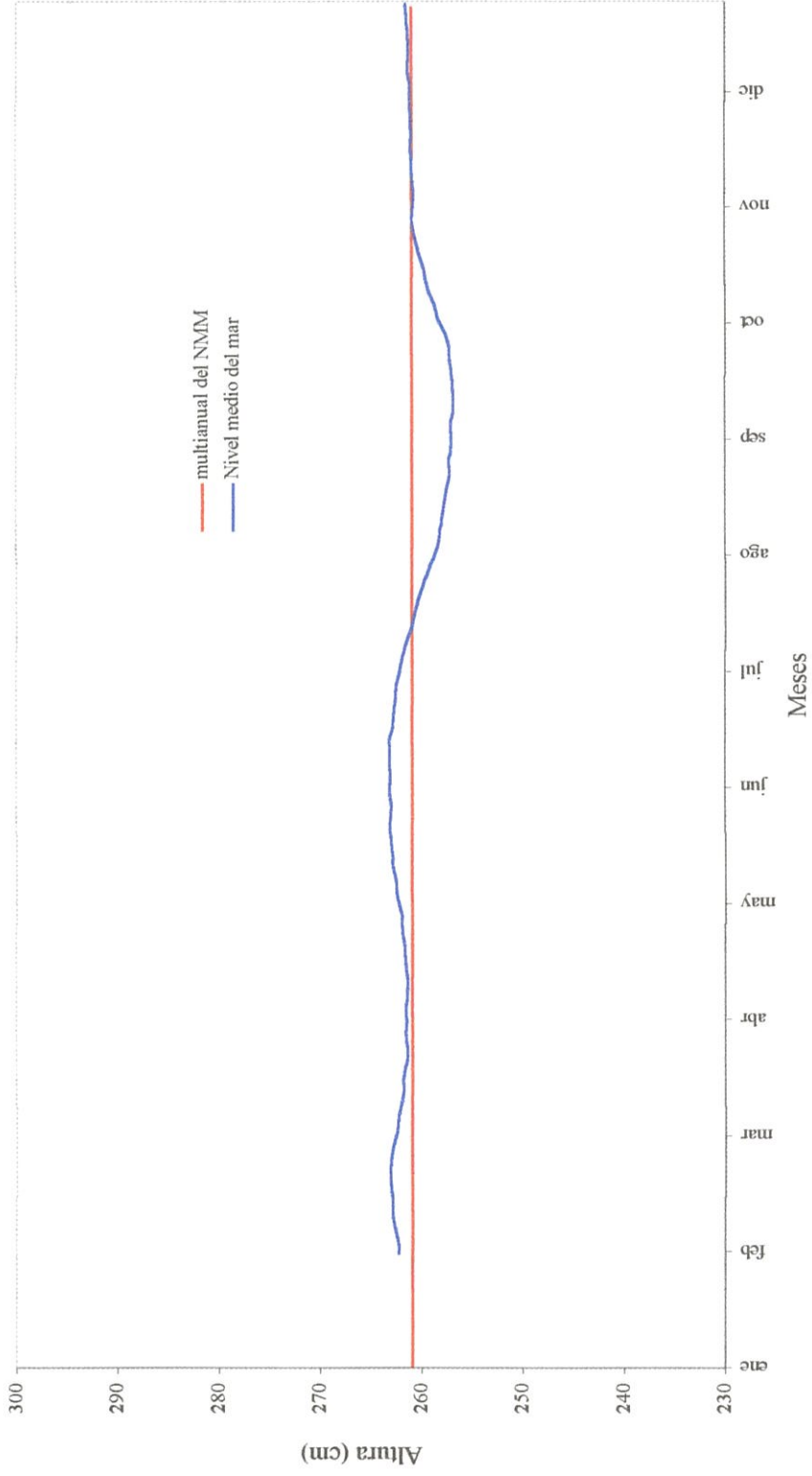


Figura 2.29. Normal del nivel medio del mar obtenida en el período entre 1975 y 1999, referidas al MLWS

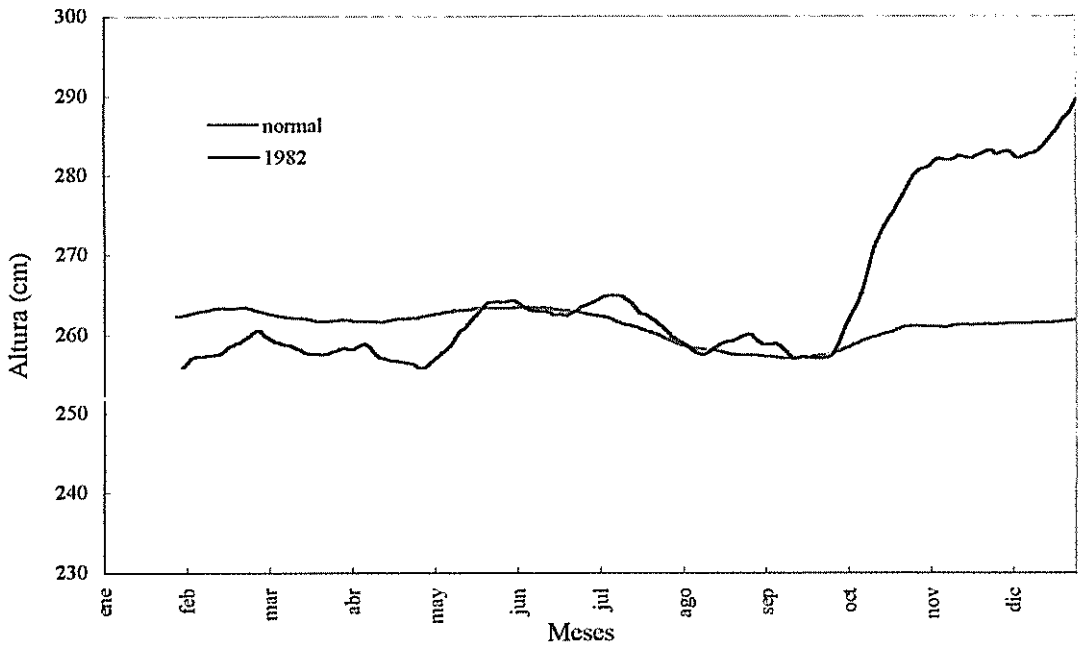


Figura 2.30. Promedio mensual del nivel medio del mar (1982)

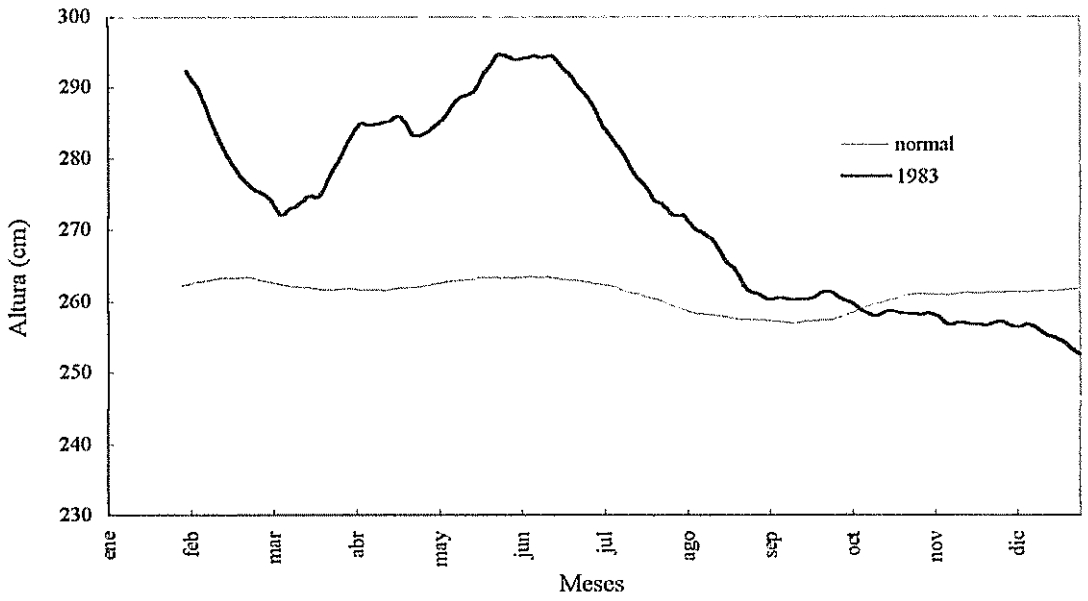


Figura 2.31. Promedio mensual del nivel medio del mar (1983)

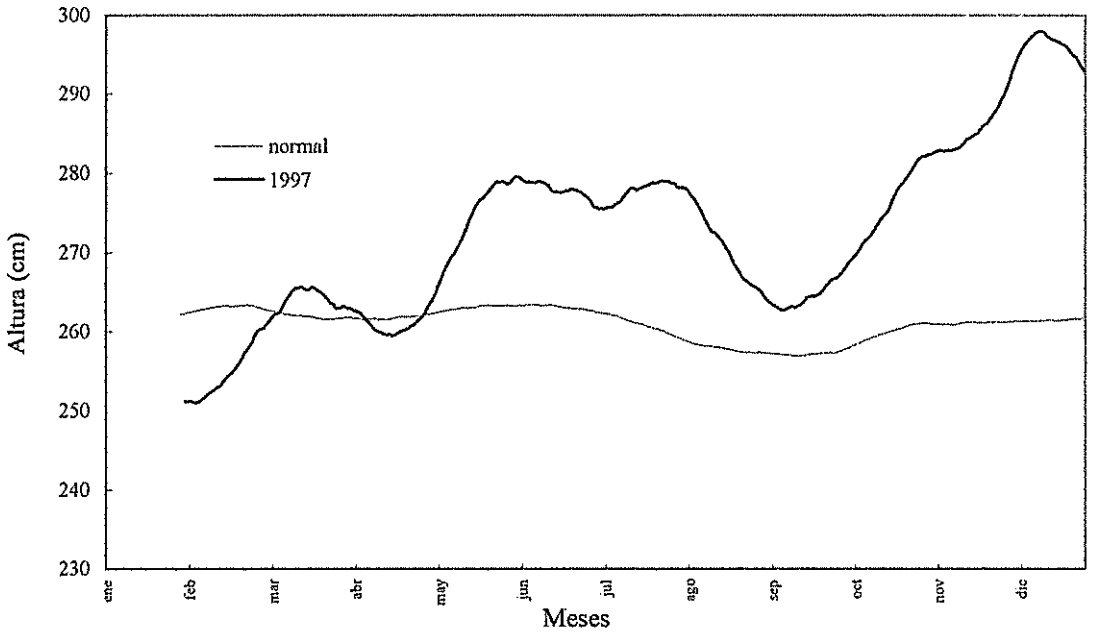


Figura 2.32. Promedio mensual del nivel medio del mar (1997)



Figura 2.33. Promedio mensual del nivel medio del mar (1998)

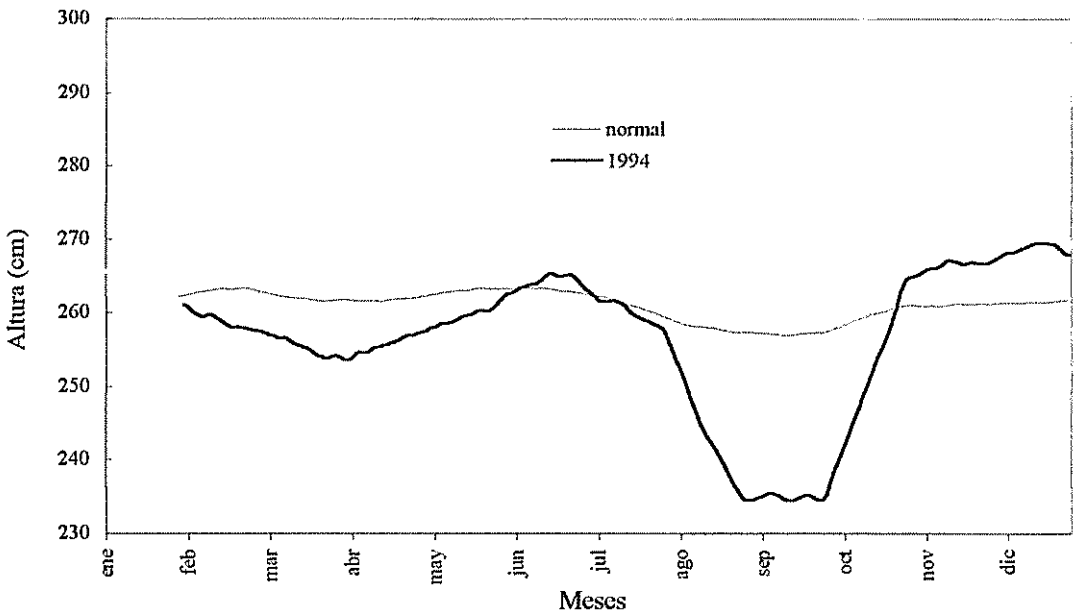


Figura 2.34. Promedio mensual del nivel medio del mar (1994)

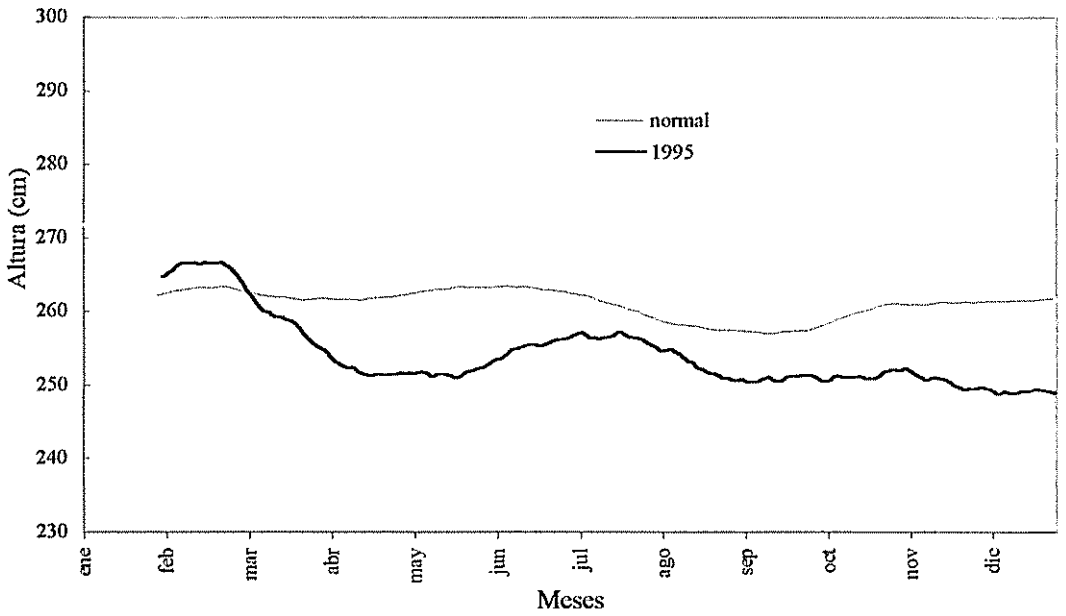


Figura 2.35. Promedio mensual del nivel medio del mar (1995)

Tabla XII.- Promedios del nivel medio del mar (mm), referidos al MLWS, 1948 hasta 1998, La Libertad

Año	Media Anual (mm)	Máxima anual (mm)		Año	Media Anual (mm)	Máxima Anual (mm)	
1948	258.80	259.70		1974	257.03	265.20	
1949	259.40	268.20		1975	255.21	265.70	
1950	257.15	263.30		1976	<b>266.19</b>	<b>271.50</b>	*
1951	<b>265.35</b>	<b>279.00</b>	*	1977	258.62	265.40	
1952	260.48	265.00		1978	260.99	266.60	
1953	<b>267.28</b>	<b>274.30</b>	*	1979	264.88	269.60	
1954	266.51	271.30		1980	265.77	272.20	
1955	261.65	271.60		1981	261.82	278.90	
1956	265.45	272.60		1982	<b>265.58</b>	<b>288.80</b>	***
1957	<b>275.21</b>	<b>283.80</b>	**	1983	<b>273.10</b>	<b>294.20</b>	***
1958	<b>266.46</b>	<b>278.10</b>	**	1984	254.35	257.10	
1959	264.55	269.90		1985	253.13	258.50	
1960	261.92	268.80		1986	258.01	264.80	
1961	261.76	267.10		1987	263.98	276.80	*
1962	259.54	264.80		1988	255.23	261.00	
1963	264.66	267.50		1989	257.37	261.20	
1964	259.98	264.50		1990	255.37	261.00	
1965	262.60	268.70	*	1991	260.38	266.20	*
1966	262.19	266.00		1992	263.76	277.70	*
1967	264.38	271.50		1993	261.43	267.90	*
1968	265.08	274.10		1994	256.74	267.90	
1969	269.89	279.00		1995	254.23	264.60	
1970	255.50	268.60		1996	253.20	255.00	
1971	255.78	261.10		1997	<b>272.5</b>	<b>305.3</b>	***
1972	<b>268.68</b>	<b>278.20</b>	**	1998	<b>265.5</b>	<b>317.1</b>	***
1973	254.78	262.40	**				

\* Años con la presencia de un evento El Niño débil

\*\* Años con la presencia de un evento El Niño moderado

\*\*\* Años con la presencia de un evento El Niño fuerte

#### **2.1.4.2. Cambios Climáticos**

Los patrones que rigen el clima son producidos por una compleja interacción entre el sol, la atmósfera, los océanos, los hielos, y la superficie de la tierra, de manera que los cambios que se produzcan en alguno de ellos pueden modificar el equilibrio natural establecido afectando al clima de manera global.

Predecir el comportamiento del clima ha sido una tarea que el hombre nunca ha podido cumplir a ciencia cierta, y así las tormentas, sequías, inundaciones y hambrunas han azotado una y otra vez a la humanidad. Sin embargo los datos de los últimos 150 años indican que hay una tendencia marcada en el comportamiento del clima: la tierra está calentándose gradualmente. Y es que cada vez existen mayores evidencias científicas que no dejan dudas de que el clima está cambiando con mayor celeridad, que el hombre es uno de los principales actores en estos cambios y que el efecto de dichos cambios serán mayores en los próximos decenios. Al parecer el creciente uso de combustibles fósiles como principal fuente de energía, y las intensas

actividades de deforestación están provocando una mayor acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera, que se traduce en un paulatino aumento de la temperatura en el planeta (Espinoza, 1993).

El Programa Ambiental de las Naciones Unidas (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (WMO), han pronosticado que las temperaturas se elevarán aproximadamente 0.3 grados centígrados por década, suponiendo que continúen las emisiones de los gases de efecto de invernadero. Esto ocasionaría un probable incremento de la temperatura promedio del planeta de aproximadamente 1°C por encima del valor actual para el año 2025, que traerá como consecuencia el correspondiente aumento de la temperatura superficial del mar en 1.5°C y el incremento relativo del nivel del mar de 20 cm para el mismo año. Esta variación y cambio del clima tendrá su impacto dentro del medio ambiente oceánico y costero con un marcado cambio en los sistemas de vientos y corrientes, la intensificación de las tormentas tropicales y daños en los ecosistemas costeros.

## 2. Planificación de las actividades

Luego de la recopilación de la información existente presentada, se procedió a realizar mediciones de características litorales en cuatro estaciones, cuya ubicación se encuentra en la fig. 2.36.

Dichas observaciones durante las épocas seca y húmeda, tanto en cuadratura como en sicigia. Los datos recopilados corresponden a toma de muestras de sedimentos a lo largo de la línea de costa, observaciones visuales de altura, período y tipo de olas rompientes, dirección de corriente litoral, alineación de la playa, ancho de la zona de rompiente y ángulo de llegada del tren de ondas.

Se analizaron los datos de altura de rompiente, con el fin de obtener las alturas medias significativas para cada estación en cada época del año. Con los datos de las corrientes litorales se procedió a obtener información de la velocidad de la corriente litoral promedio y la dirección predominante en las estaciones, tanto visualmente como mediante el uso de fórmulas teóricas.

Con los datos de velocidad de la corriente litoral y altura rompiente se calcula el transporte litoral con tres métodos diferentes: Komar, Higgins y Cerc, con el fin de comparar los resultados obtenidos y definir si la



existencia de erosión o crecimiento de playa.

Mediante la ayuda de algunos medios, tales como cartas batimétricas, fotografías aéreas, imágenes de internet y a la información obtenida mediante los cálculos se podrá determinar que procesos han ocurrido en esta playa.

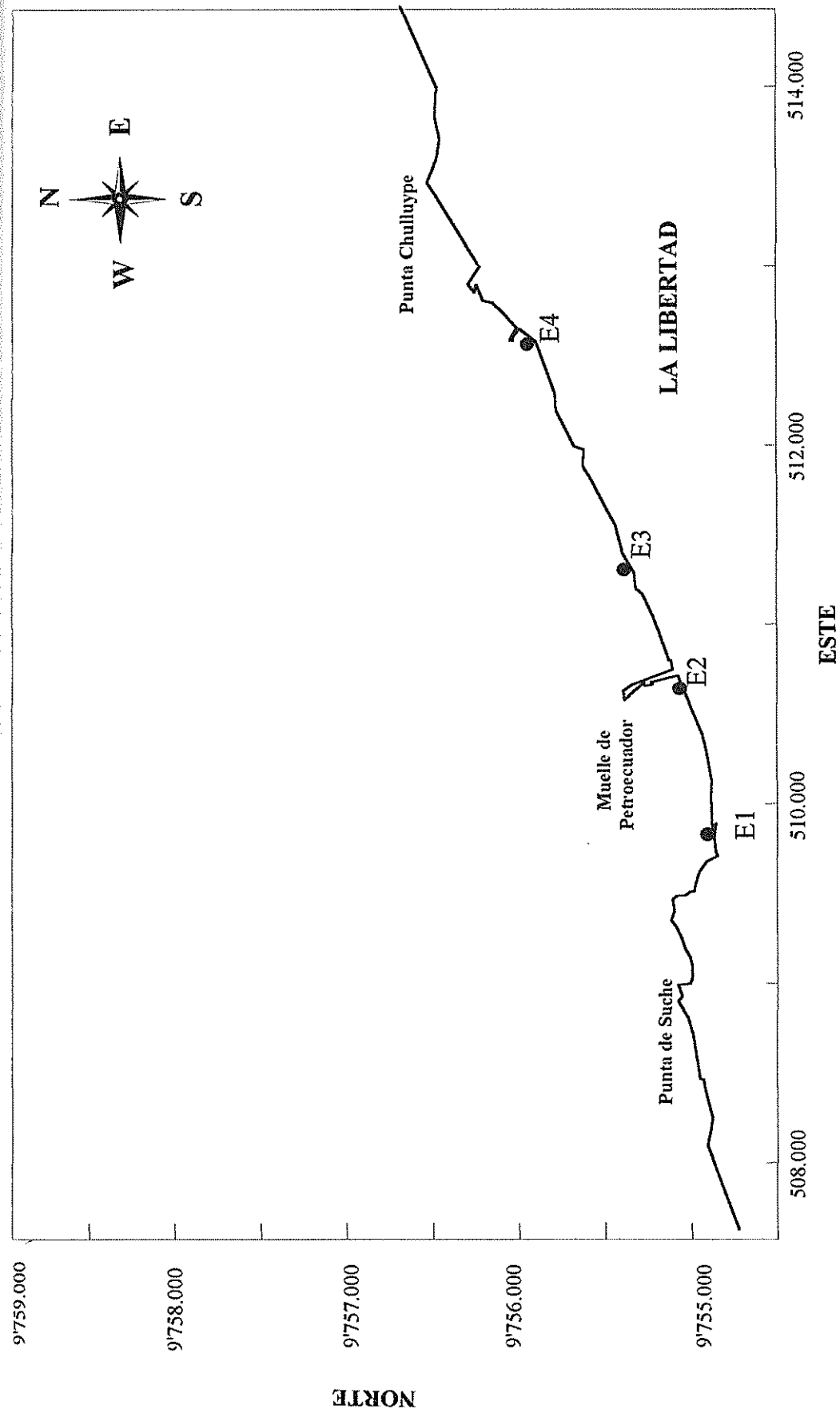


Figura 2.36. Ubicación de las estaciones de medición

### 2.3. Métodos de medición

En todas las estaciones, cada hora se miden visualmente las alturas de 10 olas rompientes, de las cuales se deduce un valor promedio. Para obtener el período se toma el tiempo en que las 10 olas tardaron en arribar a la costa y se divide ese valor para el número de olas observadas.

La corriente litoral se obtiene mediante el seguimiento de la trayectoria de un flotador pequeño, que es lanzando por un observador en la zona de rompiente. Se mide el tiempo que éste tarda desde que cae en el mar hasta vararse en la playa y la distancia recorrida desde el sitio donde cayó hasta donde fue recogido. Con el tiempo y espacio se deduce la velocidad.

La alineación de la playa y la dirección de arribo de las olas se la mide con una brújula o compás de bote.

Las olas no rompientes, nombradas en el capítulo anterior fueron medidas con un olígrafo que funciona electrónicamente y que fue colocado en el fondo oceánico en el veril de los 13 m., para que mida cada cierto intervalo de tiempo, INOCAR.

Para medir corrientes con el método Lagrangiano se siguió la trayectoria de una parcela de agua cuya posición se mide en un

intervalo de tiempo, para tal efecto se utilizaron flotadores a la deriva, los que son empleados para conocer la trayectoria del flujo en el área de interés, con lo que se obtiene información de corrientes superficiales y subsuperficiales (3 metros).

Con el método Euleriano monitorea el flujo en un punto fijo, durante largos períodos de tiempo, para lo cual se utilizó un correntómetro autocontenido de registro automático, al que se lo colocó en el veril de los 13 m., INOCAR.

#### **2.4. Tratamiento de la información**

Se revisan las series de datos visualmente, luego se limpia los datos que están fuera de rango a criterio del investigador, finalmente se usan los datos en cálculos matemáticos o a través de fórmulas y también se realizan gráficos estadísticos del comportamiento de datos históricos.

También se eligió a la altura de olas como un factor importante en los procesos costeros, por lo que se correlacionó a la misma con altura de la marea, intensidad de los vientos locales y precipitación de las alturas de olas para observar el tipo de relación existente.

# CAPÍTULO 3

## 3. PROCESOS COSTEROS

### 3.1. Olas Rompientes

Las olas rompientes constituyen un factor principal en la determinación de la geometría y composición de las playas y son de influencia significativa en la planificación y diseño de obras realizadas en la zona litoral. Al aproximarse una ola hacia la costa y disminuir la profundidad, su dirección puede cambiar por el efecto de refracción. La altura de la ola puede aumentar en gran magnitud, en referencia a lo que tenía en aguas profundas antes de romper, disipando gran cantidad de energía formándose olas muy empinadas, por lo que el agua comienza a moverse a la misma velocidad de las olas, lo que se manifiesta en la turbulencia del agua, y provoca que los materiales de fondo sean removidos, mantenidos en suspensión y finalmente transportados.

### 3.1.1. Alturas

De acuerdo a estudios realizados por Cardín y Allauca (1988), las olas frente a las costas ecuatorianas corresponden a olas generadas en lugares distantes, conocidas como mar de fondo. Las olas de mar de fondo o tipo swell, presentan en el océano abierto un perfil casi sinusoidal, son olas largas y de crestas suaves, las cuales al entrar a aguas someras sufren transformaciones, que empiezan cuando sienten el fondo, lo que ocurre a una profundidad aproximada igual a la  $\frac{1}{2}$  de la longitud de onda en aguas profundas ( $L_0$ ), llegando a ser más significativa a una profundidad igual a un cuarto de  $L_0$ . En esta situación, tanto la velocidad como la longitud de la ola decrecen, mientras que la altura aumenta progresivamente, solamente el período se mantiene constante. El tren de ondas resultante consiste en una serie de crestas agudas separadas con valles planos, el cual al llegar a la zona de rompiente las olas se vuelven inestables y rompen cuando la razón entre la altura de la ola y la profundidad del agua llega a ser alrededor de 0.7.

Los datos de alturas de olas rompientes correspondientes a La Libertad, fueron obtenidos en las 4 estaciones de muestreo indicadas en la figura 2.63, y se las describe en la tabla XIII, clasificadas de acuerdo al tipo de marea y a la época del año.

En la estación seca las alturas oscilan entre 0.19 y 0.48 m. En

la sicigia, las alturas son ligeramente mayores, en la estación 4, mientras que en la cuadratura, las 4 estaciones tienen alturas similares. No existen diferencias notables de alturas entre la sicigia y cuadratura en esta época.

En la época húmeda las alturas oscilan entre 0.24 y 1.14 m. En la cuadratura, la E3 posee los mayores valores de altura. En la sicigia, las estaciones 2, 3 y 4 tienen alturas mayores a 0.55 m, mientras que la E1 tiene como máximo, una altura de 0.46 m. En la sicigia las alturas son mayores que la cuadratura.

Tabla XIII. Altura de olas rompientes en La Libertad

			Alturas (m)			
			Estaciones			
		Fecha	E1	E2	E3	E4
<b>Época Seca</b>	Sicigia	19/10/94	0.36	0.38	0.31	0.39
		20/10/94	0.33	0.22	0.26	0.39
		21/10/94	0.29	<b>0.19</b>	0.30	<b>0.48</b>
		22/10/94	0.35	0.28	0.32	0.38
		27/06/95	-	0.46	0.36	0.36
		25/10/95	-	-	0.36	-
		26/10/95	0.40	0.32	0.32	-
	Cuadratura	27/10/94	0.40	0.24	0.29	0.31
		28/10/94	0.22	0.26	0.25	0.31
		29/10/94	0.28	0.29	0.27	0.25
		30/10/94	0.20	0.26	0.38	0.26
		4/08/95	-	0.36	-	-
		5/08/95	0.36	0.42	0.22	0.42
		6/08/95	0.25	0.44	0.19	0.43
<b>Prom. Época seca</b>			0.31	0.32	0.29	0.36
<b>Época Húmeda</b>	Cuadratur	09/03/95	0.31	<b>0.24</b>	0.51	0.28
		10/03/95	0.33	0.30	0.54	0.25
		11/03/95	0.44	0.34	0.66	0.31
	Sicigia	16/03/95	0.27	<b>1.14</b>	0.69	0.60
		17/03/95	0.30	0.75	0.92	0.66
		18/03/95	0.46	0.67	0.87	0.55
	<b>Prom. Época</b>			0.35	0.57	0.70



De acuerdo a lo descrito y de lo que se puede observar de la tabla XIII, se deduce que las alturas rompientes son influenciadas por la época del año. En la estación seca, las alturas son menores que en la húmeda.

### **3.1.2. Períodos**

El viento es el principal generador de las olas, transfiere su energía del aire al mar, lo que origina la formación de ondas de distintas alturas y períodos. Esta energía, depende de la duración, velocidad y de la distancia sobre la cual sopla el viento. El flujo de energía es proporcional al período y al cuadrado de la altura, entonces se requeriría una mayor entrega de energía, desde el viento hasta las olas, para duplicar la altura de una ola de período largo, que una ola de período corto. Por lo tanto olas de largo período sólo se pueden desarrollar bajo condiciones extremas, con vientos fuertes, de larga duración y soplando sobre grandes distancias. En mar abierto se podrían producir olas de períodos mayores a 20 s, pero en general se tiene olas de períodos entre los 10 y 15 s, por el contrario, en una pequeña piscina, los períodos que se generarán están entre 2 y 3 segundos.

De acuerdo a la clasificación de olas por su período, en nuestras costas corresponden a olas de mar de fondo, es decir, olas generadas por vientos en otra región y llevadas

hasta nuestras playas.

Los períodos en las estaciones están entre 11.1 y 20 s, tabla XIV. Su comportamiento es similar durante todo el año, coincidiendo con los valores obtenidos por el olígrafo instalado por INOCAR, en el veril de los 13 m.

**Tabla XIV. Períodos de Olas rompientes en las estaciones de medición**

			<b>Período (s)</b>			
			<b>Estaciones</b>			
		<b>Fecha dd/mm</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>
<b>Época Seca</b>	Sicigia	19/10/9	15.5	11.5	12.8	12.4
		20/10/9	19.3	13.2	12.9	16.0
		21/10/9	16.4	12.4	12.2	16.9
		22/10/9	16.7	13.4	12.3	16.8
		27/06/9	-	14.0	11.0	11.0
		25/10/9	-	-	14.5	-
		26/10/9	14.0	16.0	15.0	-
	Cuadratura	27/10/9	21.7	15.2	15.4	19.5
		28/10/9	18.1	15.9	13.8	18.9
		29/10/9	17.0	16.5	16.0	16.9
		30/10/9	23.2	15.6	17.2	15.5
		4/08/95	-	11.0	-	-
		5/08/95	15.0	9.1	11.4	7.4
		6/08/95	18.5	9.7	11.4	8.0
<b>Prom. época seca</b>			17.7	13.3	13.5	14.5
<b>Época Húmeda</b>	Cuadratura	09/03	23.8	15.9	16.6	19.4
		10/03	21.4	16.9	16.2	20.6
		11/03	21.7	15.5	15.1	13.5
	Sicigia	16/03	17.9	17.2	15.4	19.6
		17/03	13.9	15.4	16.0	15.9
		18/03	18.17	14.28	14.8	18.0
	<b>Prom. Época</b>			19.5	15.9	15.7

### 3.1.3. Dirección

Las crestas de las olas, suelen alinearse paralelas a la línea de costa por efecto de la refracción, sin embargo en ocasiones llegan con ángulo respecto a la línea de playa, lo que da lugar a las llamadas corrientes litorales.

En las cuatro estaciones el tren de ondas viene con una dirección que oscila entre  $295^\circ$  y  $335^\circ$  (NW). La alineación de la línea de playa es la siguiente en grados magnéticos:

Estación 1:  $85^\circ$

Estación 2:  $70^\circ$

estación 3:  $65^\circ$

estación 4:  $50^\circ$

La cresta de la ola forma ángulos de entre  $10^\circ$  y  $30^\circ$  con la línea de costa de cada estación, lo que se puede apreciar en la figura 41, lo que induce una corriente litoral hacia la derecha. En la tabla XV, se encuentran los ángulos más representativos observados durante las mediciones.

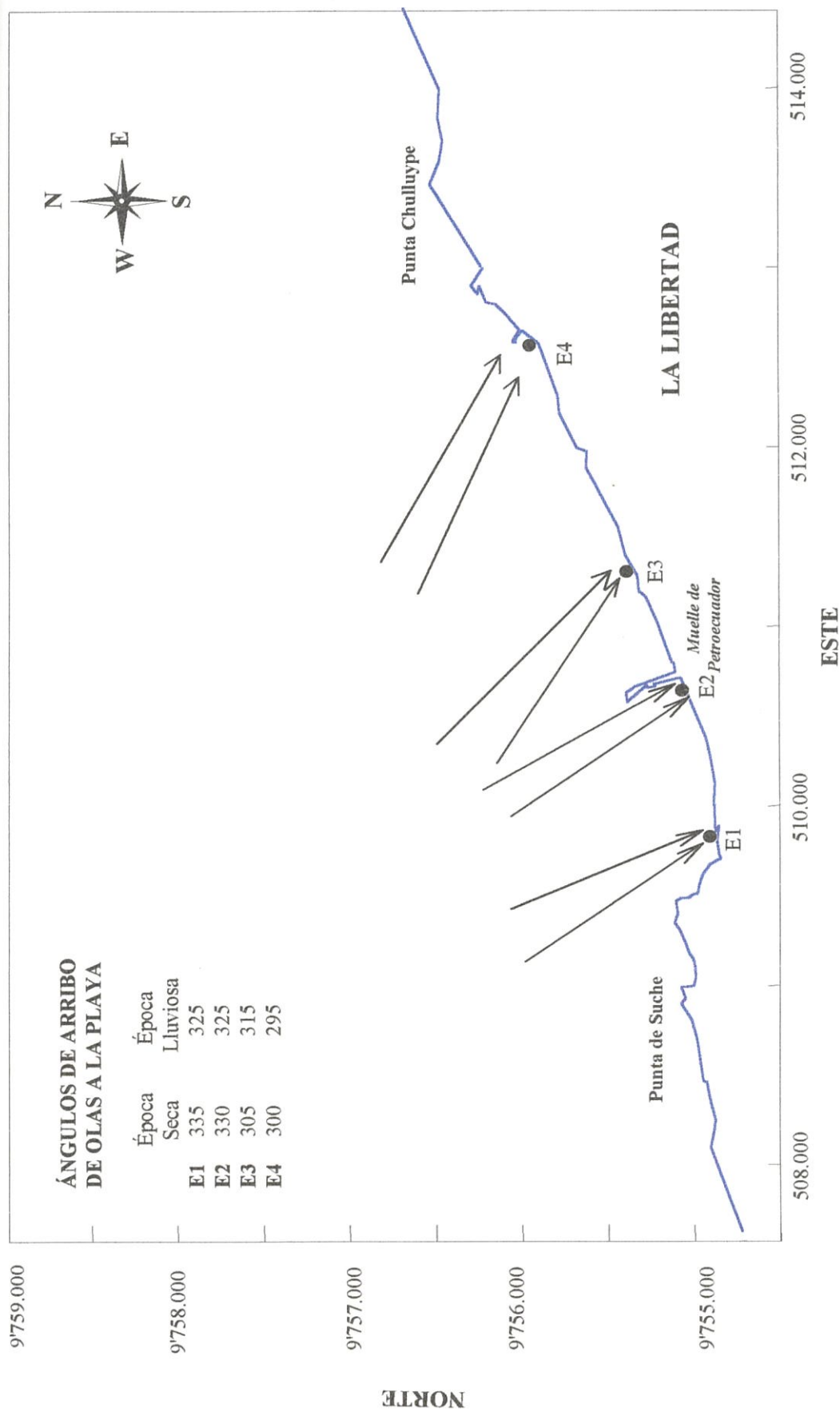


Figura 3.1. Dirección del oleaje en las estaciones de medición en La Libertad, 1995

**Tabla XV.- Ángulos que forman las crestas de las olas con la línea de costa (grados magnéticos).**

	<b>ÉPOCA SECA</b>	<b>ÉPOCA HÚMEDA</b>
Estación 1	20	30
Estación 2	10	15
Estación 3	30	20
Estación 4	20	25

### **3.1.4. Clasificación de Olas rompientes**

Las olas al llegar a la playa, rompen al acercarse a la zona de rompiente, figura 3.2, cuando se cumple la razón  $H/d=0.78$ , siendo tres las formas básicas de ruptura olas de volteo, de derrame y de surfing.

- a) En las olas de volteo o plunging, la cara delantera de la ola se vuelve vertical, se enrolla hacia delante, volteándose y cayendo sin cambiar su forma. Se relacionan con playas de pendiente suave y con olas de mediana inclinación. Un gran porcentaje de energía se pierde fuera del punto de ruptura en la zona de surf. Se forma una nueva ola de altura reducida, la que continúa hacia la costa sin romper, en donde alcanza un nuevo punto de ruptura.
- b) Olas de derrame, cuando la ola en forma gradual se empina hasta que la cresta llega a ser inestable y el agua

cae formando cascadas, formando burbujas y espuma, suelen ocurrir en playas de pendiente baja, casi horizontales y con olas muy inclinadas. Solamente una parte de energía se pierde en la rompiente, justo la suficiente para lograr que la ola se mantenga rompiendo en todo su camino hacia la playa.

- c) Las olas tipo surging, se empinan como si fueran a voltearse, pero antes de esto, la base de la ola se levanta hacia la cara de la playa, provocando que la cresta colapse y desaparezca. Ocurren sobre playas con pendiente aguda y con olas de poca inclinación, la ola alcanza la costa antes de romper, conteniendo considerable energía. Esta onda es reflejada mar adentro ( en forma de pared), interfiriendo en la llegada de la ola siguiente, provocando el incremento de la altura de las olas. Figura 3.3.

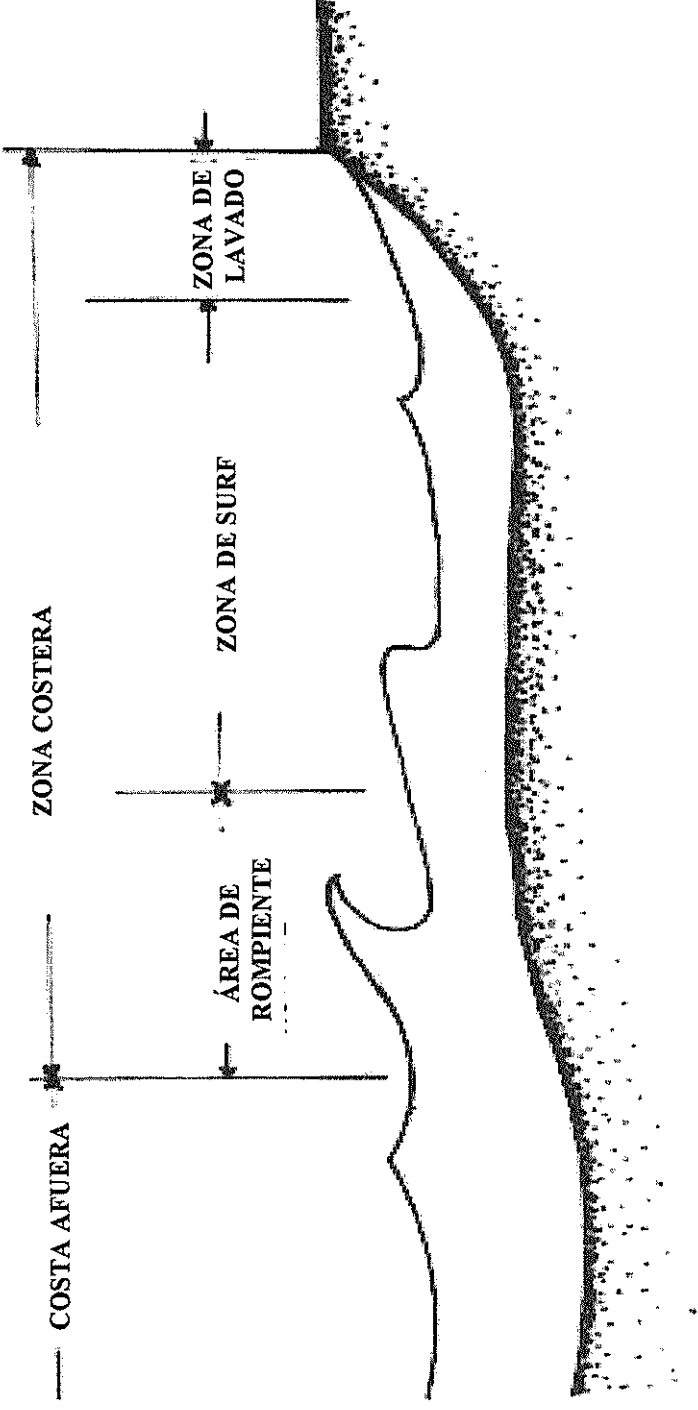
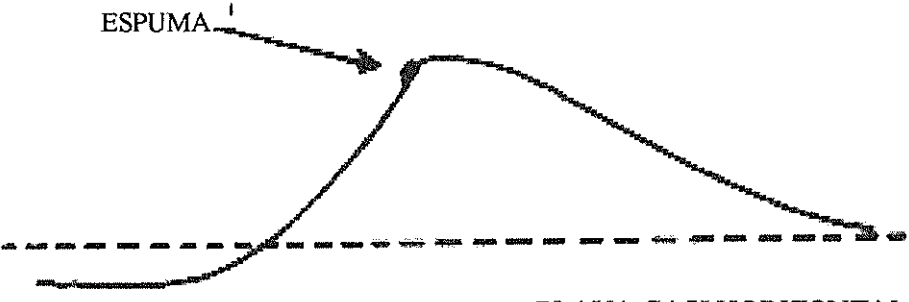


Figura 3.2. Zona de rompiente



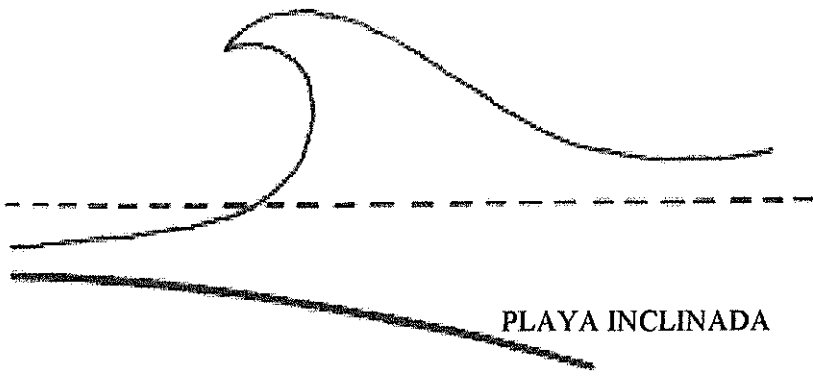
**DERRAME**

ESPUMA



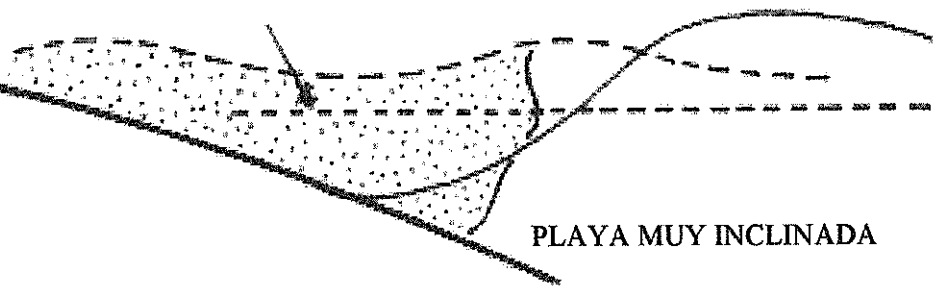
PLAYA CASI HORIZONTAL

**VOLTEO**



PLAYA INCLINADA

**SURGING**



PLAYA MUY INCLINADA

Figura 3.3.- Tipo de Olas

Si se considera al parámetro de surfing, como un indicador del tipo de rompiente, el cual involucra a la pendiente de la playa como factor determinante, entonces con los datos de campo y al aplicar la fórmula, se obtiene el tipo de rompiente en forma teórica como se indica en la tabla XVI.

$$\varepsilon = (H_b) / (gT^2 \tan\beta) \quad \text{parámetro de surfing, donde}$$

$$\varepsilon > 7.5 \times 10^{-2}, \quad \text{rompiente tipo derrame}$$

$$5.1 \times 10^{-3} < \varepsilon < 7.5 \times 10^{-2}, \quad \text{rompiente de volteo}$$

$$\varepsilon < 5.1 \times 10^{-3} \quad \text{rompiente de surfing}$$

$H_b$ : altura rompiente,  $T$ : período,  $\tan\beta$ : pendiente de la playa.

**Tabla XVI. Parámetro de surfing en las estaciones de muestreo :**

	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>
Pendiente ( $\tan \beta$ )	0.01	0.037	0.025	0.0167
<b>Época seca</b>				
Altura promedio (m)	0.31	0.32	0.29	0.36
Período (s)	17.7	13.3	13.5	14.5
$\varepsilon$	$1.01 \times 10^{-2}$	<b><math>4.98 \times 10^{-3}</math></b>	$6.49 \times 10^{-3}$	$1.05 \times 10^{-2}$
<b>Época húmeda</b>				
Altura promedio (m)	0.35	0.57	0.7	0.44
Período (s)	19.49	15.86	15.68	17.84
$\varepsilon$	$9.4 \times 10^{-3}$	$6.2 \times 10^{-3}$	$1.16 \times 10^{-2}$	$8.46 \times 10^{-3}$

La tabla XVI indica que predominan las olas tipo volteo, con la excepción de la estación 2, en la época seca, donde de acuerdo al parámetro teórico, existiría una rompiente tipo surging, sin embargo, debido a que el valor obtenido en el cálculo ( $4.98 \times 10^{-3}$ ), es muy próximo al límite inferior de las olas tipo volteo ( $5.1 \times 10^{-3}$ ), se deberían realizar nuevas observaciones de los datos de entrada.

De las observaciones del tipo de olas realizadas en cada estación de muestreo, se obtuvo que las olas son en mayoría del tipo volteo (plunging), en ocasiones, observándose también olas de derrame en E2 y E4, durante la época húmeda.

#### **3.1.4.1. Sólidos en suspensión en la rompiente**

Las olas tipo volteo, típicas del área, levantan menos sedimento que las tipo derrame (SPM), por lo tanto playas con menor pendiente moverán más sedimento, al formar olas de derrame.

Tanto en la época húmeda, marzo de 1995 como en la seca agosto y diciembre de 1995, se determinó la cantidad de sólidos suspendidos puestos en movimiento por la acción de las olas. En cada estación se tomaron muestras de agua utilizando botellas muestreadoras, y luego utilizando el método de filtrado, se determinó la cantidad de sedimentos por cada litro de agua de mar. Los resultados de concentración de

sólidos suspendidos se encuentran en la tabla XVII.

En la época húmeda los valores de concentración son mayores, pero no existe una tendencia definida por fases de marea, ni por estación.

La mayor concentración está en la E1, con de 14.3 mg/l, en la cuadratura de la época húmeda y la menor de 0.153 mg/l, en la misma estación en la cuadratura de la época seca. Debido a que no se encuentra una clara tendencia en la concentración de sedimentos, sería necesario realizar mediciones periódicas con la finalidad de establecer un sistema de estandarización del muestreo, corrigiendo posibles errores, pues no se puede concluir algo definitivo basándose en estas mediciones.

Por ejemplo en Las Manchas, localidad cercana a Muisne, Provincia de Esmeraldas, con promedio de altura de ola rompiente en sicigia de 0.6 m y en cuadratura de 0.4 m, se encontró concentraciones entre 270 hasta 7280 mg/l, en agosto de 1995 (estación seca). En Chanduy, Provincia del Guayas, con promedios de alturas rompientes de 0.54 m en sicigia y 0.40 m en cuadratura, se encontró concentraciones de sedimentos entre 390 y 11490 mg/l en marzo de 1996, (estación húmeda). En ambas localidades los valores

son superiores que en La Libertad, lo que se explica porque en los sitios mencionados, la pendiente de playa es suave, con olas tipo derrame y con un ancho de zona de surf muy amplio, por lo que la cantidad de sedimento arrastrado por las olas hasta llegar a la playa es mayor, pues la ola cuenta con mayor tiempo de viaje desde que rompe hasta que llega a la Línea de Costa.

**Tabla XVII. Sólidos suspendidos en las cuatro estaciones de medición**

**a) Época Húmeda**

**CONCENTRACIÓN (mg/l)**

	FECHA	E1	E2	E3	E4
Cuadratura	09/03/1995	10.4	2.6	2.3	8.3
	10/03/1995	4.1	3.2	1.0	1.9
	11/03/1995	14.3	2.7	2.7	1.2
Sicigia	<b>Conc. Media</b>	9.6	2.8	2	3.8
	16/03/1995	7.0	9.3	7.8	5.7
	17/03/1995	1.0	4.9	2.5	4.9
	18/03/1995	3.4	4.9	3.5	18
	<b>Conc. Media</b>	3.8	6.4	4.6	9.5

**b) Época Seca**

**CONCENTRACION (mg/l)**

	FECHA	E1	E2	E3	E4
Cuadratura	4/08/95	-	3.0	-	-
	5/08/95	0.2	4.0	2.6	0.8
	6/08/95	1.1	2.4	4.2	0.2
	<b>Conc. Media</b>	0.6	3.1	3.4	0.5
Sicigia	25/10/95	-	-	1.9	-
	26/10/95	1.7	5.6	4.3	-
	<b>Conc. Media</b>	1.7	5.6	3.1	-

### 3.1.5. Refracción de Olas

Para realizar los diagramas de refracción, que se encuentran en las figuras 3.4 y 3.5, se utilizaron los períodos más significativos de las mediciones realizadas por INOCAR, que corresponden a 14 y 16 s, ingresando al mapa IOA 10520, con una altura de olas de 1.4 m en el veril de 200 m, que corresponde a aguas profundas y con tres diferentes ángulos de incidencia

Los ángulos de incidencia elegidos fueron de 210, 280 y 320 °C. En la tabla siguiente, se encuentran los índices de refracción ( $K_r$ ), para cada ángulo de ingreso, los mismos que se obtuvieron luego de realizar los diagramas de refracción de olas.

**Tabla XVIII.- Índice de refracción ( $K_r$ )**

Período (s)	Dirección (Grados magnéticos)		
	210	280	320
14	0.6	0.68	0.8
16	0.7	0.74	0.69

Hay que anotar, que de acuerdo a mapas de dirección de olas que se obtuvieron a través de internet, ([http://152.80.49.210/PUBLIC/WAM/all\\_spac.html](http://152.80.49.210/PUBLIC/WAM/all_spac.html)) la dirección predominante de la entrada de las olas corresponde al ángulo de  $210^\circ$  magnéticos, lo cual se lo puede observar en la figura 3.6, y corresponden, a meses de ambas estaciones.

De acuerdo a estos mapas, la dirección predominante corresponde a la del suroeste, para esta dirección el coeficiente de refracción es de 0.60 y 0.7, valores que nos darían una atenuación por efecto de la refracción entre 0.9 y 1.13 m, este valor es elevado para los observados, por lo que sería necesario realizar mediciones consecutivas de al menos un año para conocer el comportamiento real del oleaje, pues en los meses de mediciones se observaron olas relativamente bajas en altura, tanto en el veril de los 13 m, (numeral 2.1.1.1, capítulo 2), como en las alturas de olas rompientes (tabla XIII).



Fig. 3.4 - DIAGRAMA DE REFRACCION

PERIODO 14.5

DIRECCIONES

1 - 210

2 - 280

3 - 320

T = 14s

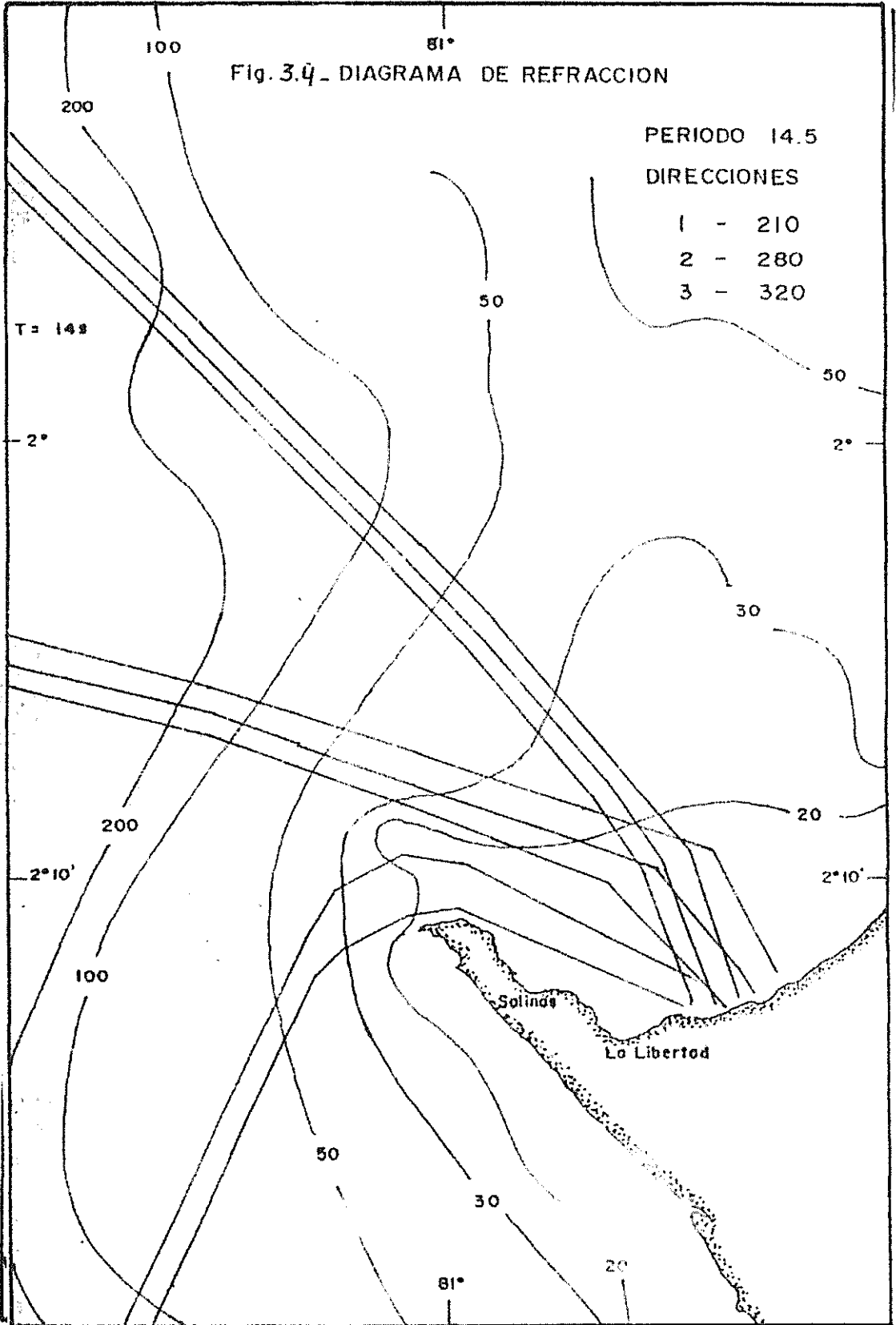
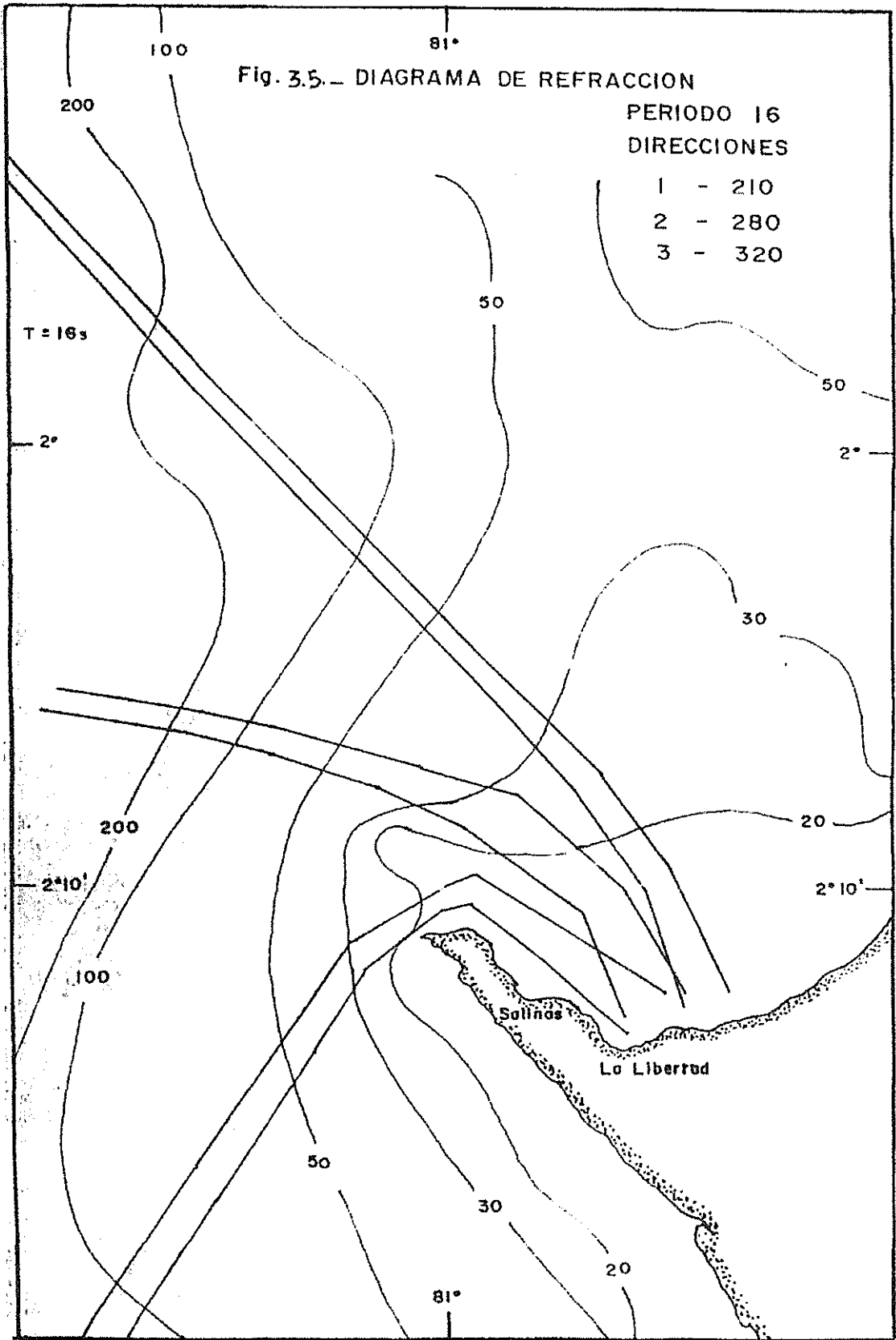


Fig. 3.5. - DIAGRAMA DE REFRACCION

PERIODO 16  
DIRECCIONES

- 1 - 210
- 2 - 280
- 3 - 320



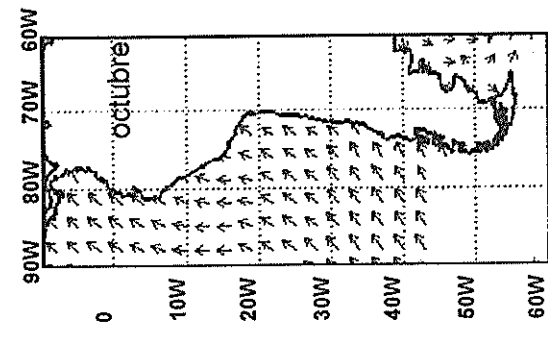
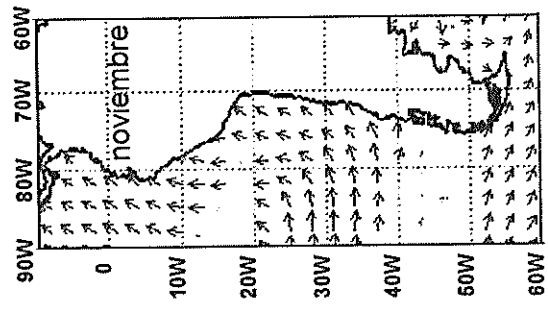
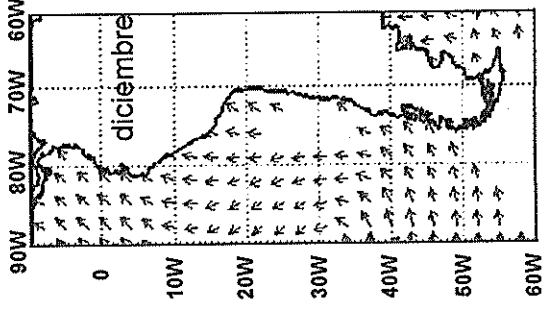
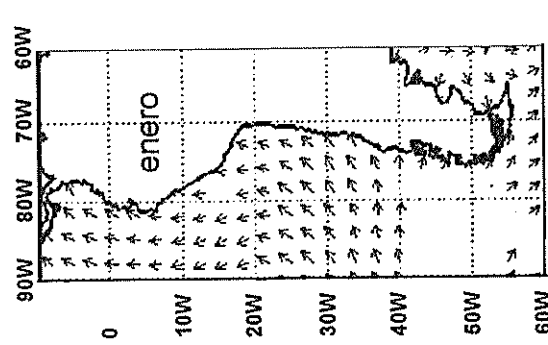
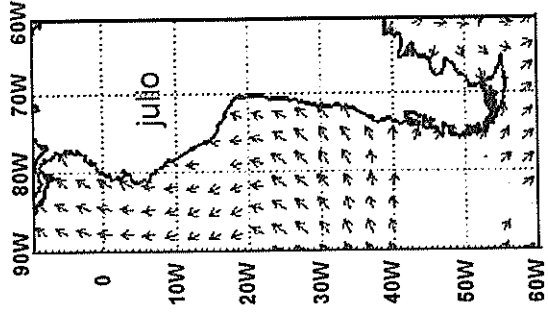
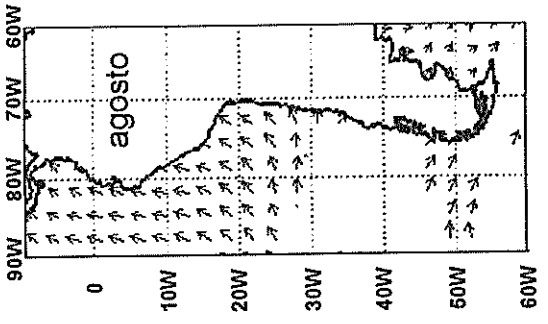


Figura 3.6.- Dirección de las olas en distintos meses del año

Fuente: [http://152.80.56.202/wam/all\\_spac.html](http://152.80.56.202/wam/all_spac.html)

### 3.2. Corriente Litoral

Las corrientes litorales constituyen el principal agente formador y destructor de playas, las cuales se producen cuando las olas se aproximan a la costa formando un ángulo, y son factor principal en la dirección y magnitud del movimiento de sedimentos, (Sánchez, 1978). Esta corriente fluye paralela a la línea de costa y está restringida a la zona entre la rompiente y la línea de costa y aunque es de velocidades bajas, (Shore Protection Manual) es muy importante en los procesos costeros al viajar a lo largo de la costa, transportando sedimento levantado por las rompientes.

Para este estudio se realizaron mediciones de corrientes litorales en las cuatro estaciones, durante el mes de marzo, estación húmeda; y en los meses de agosto y octubre, época seca. Para facilitar la comprensión de los datos de corrientes presentados en las tablas se estableció que las corrientes que van hacia el este o derecha de un observador mirando hacia el mar tengan signo positivo y los que van hacia el oeste o izquierda del observador signo negativo.

En la época húmeda, las velocidades tienen componentes, tanto hacia el este como al oeste, en cuadratura las magnitudes de las corrientes alcanzan un máximo de 0.51 m/s, mientras que en sicigia un máximo de 0.54 m/s y en general las velocidades son mayores, con una tendencia más definida de la velocidad de dirigirse hacia el este, con excepción de la estación 4, cuya resultante es hacia el oeste. La estación 4 es la que en general posee los valores de velocidad

menores, ver tabla XIX.

En la época seca, la cuadratura tiene corrientes entre 0.01 y 0.26 m/s y la sicigia entre 0.02 y 0.49 m/s. La dirección predominante en todas las estaciones es hacia el oeste. La sicigia tiene valores de velocidad mayores a las de la cuadratura. Las estaciones 1 y 2 tienen los menores valores, ver tabla XX.

En general, se puede concluir, que tanto la fase de la marea, como la época del año, interfieren en el comportamiento de la velocidad litoral, pues tanto en la sicigia como en la época húmeda las magnitudes son mayores, así mismo la dirección presenta variaciones más marcadas en épocas húmedas. El transporte de sedimentos está primordialmente dirigido hacia el este en toda el área, sin dejar de considerar las componentes litorales hacia el oeste, que son las que mantienen el equilibrio de la playa.

Tabla XIX. Corrientes Litorales en La Libertad durante la época húmeda

VELOCIDADES (m/s)											
CUADRATURA						SICIGIA					
FECHA ddmmaa	HORA	E1	E2	E3	E4	FECHA ddmmaa	HORA	E1	E2	E3	E4
09/03/95	09:00	-	0.13	0.21	-0.04	16/03/95	08:00	0.13	0.21	-0.31	-
	10:00	-	0.03	-0.23	-0.07		09:00	-0.12	-0.09	-0.15	-0.17
	11:00	0.13	0.23	-0.14	0.07		10:00	-0.16	-0.11	0.06	-
	12:00	0.19	0.18	0.28	-0.05		11:00	0.07	<b>0.54</b>	0.15	0.09
	13:00	0.18	0.17	0.08	-0.09		12:00	0.19	0.03	-0.05	-0.11
	14:00	-0.11	0.26	0.36	-0.05		13:00	0.11	0.36	0.10	-0.16
	15:00	-0.16	<b>0.51</b>	0.23	-0.06		14:00	0.20	-0.03	0.31	0.05
	16:00	0.08	0.23	-0.02	-0.06		15:00	0.14	0.41	0.04	-
10/03/95	08:00	0.46	0.06	-0.16	<b>0.01</b>	17/03/95	16:00	0.1	0.01	0.06	-
	09:00	-	-0.08	-0.05	0.04		08:00	0.15	-0.17	-0.08	0.11
	10:00	-	-0.10	-0.14	-0.02		09:00	-0.22	0.09	-0.05	-0.09
	11:00	0.16	-0.14	0.04	-0.16		10:00	-0.13	0.03	-0.19	-
	12:00	0.10	-0.20	0.21	-0.13		11:00	0.15	0.12	0.31	0.09
	13:00	0.05	0.11	0.09	-0.01		12:00	-0.11	-0.15	0.12	-0.08
	14:00	-0.06	-0.05	0.13	0.04		13:00	0.40	-	0.22	0.11
	15:00	0.06	0.34	-0.03	-0.08		14:00	0.32	0.20	-0.11	0.08
16:00	0.13	0.18	0.20	-0.04	15:00	-	-	0.04	0.19		
11/03/95	08:00	-0.24	-0.04	-0.04	0.01	18/03/95	08:00	-	-0.03	0.22	-
	09:00	-0.24	-0.03	-0.14	-0.05		09:00	0.16	-0.09	-0.09	-0.10
	10:00	-0.17	0.01	-0.01	0.04		10:00	-0.27	-0.12	0.04	0.04
	11:00	-	0.01	-0.11	-0.01		11:00	0.23	0.09	0.47	-0.06
	12:00	-0.10	0.22	0.03	0.04		12:00	-0.15	0.14	-0.09	0.09
	13:00	-0.19	-0.18	0.05	0.04		13:00	0.17	-0.02	-	0.06
	14:00	-0.10	0.08	0.03	0.11		14:00	0.20	-0.07	-	0.05
	15:00	0.07	-0.18	0.08	0.07		15:00	0.33	0.32	0.25	-
16:00	0.05	0.03	0.10	0.04	16:00	-	-	0.35	-		
vel. Prom. (+)		0.12	0.18	0.14	0.05	vel..prom. (+)		0.20	0.20	0.17	0.09
vel. Prom. (-)		0.15	0.11	0.08	0.06	vel. Prom. (-)		0.17	0.09	0.09	0.10

Tabla XX: Corrientes Litorales en La Libertad durante la época seca

VELOCIDADES (m/s)											
CUADRATURA						SICIGIA					
FECHA	HORA	E1	E2	E3	E4	FECHA	HORA	E1	E2	E3	E4
4/08/95	08:00		0.10			27/06/95	13:00		-0.06		
	09:00		-0.02				14:00			0.02	-0.02
	10:00		0.05			25/10/95	08:00	0.06	-0.10	0.09	0.11
	11:00		0.10	0.17	0.10		09:00	0.04	0.09	0.29	0.18
	12:00	0.04	0.04	0.15	0.07		10:00	0.08	0.14	0.25	0.18
	13:00	0.03	0.04	0.18	0.04		11:00	0.16	0.10	0.11	0.28
	14:00	0.05	0.02	0.25	0.18		12:00	0.17	0.07	0.15	0.39
	15:00	-0.10	0.07		<b>0.26</b>		13:00	0.07	0.12	0.28	0.14
5/08/95	09:00		-0.02	0.09			14:00	0.12	0.21	0.23	-0.10
	10:00		-0.05	0.07	-0.09		15:00	0.25	-0.10	0.22	0.15
	11:00		0.01	0.09	-0.02	16:00	0.17	0.12	0.25	0.25	
	12:00		0.10	0.03	0.08	26/10/95	08:00	-0.27	0.09	0.19	0.09
	13:00	0.06	-0.01	0.09	0.03		09:00	-0.22	0.16	0.18	0.07
	14:00	-0.02	0.03	0.08	-0.02		10:00	-0.13	0.13	0.15	0.14
	15:00	0.06	0.04	0.11	0.05		11:00	0.07	0.20	0.18	0.08
	16:00	-0.03	0.04	0.19	-0.01		12:00	0.08	-0.18	<b>0.49</b>	0.13
6/08/95	09:00		0.03	0.01	-0.10		13:00	0.07	0.25	0.18	0.11
	10:00		0.06	0.16	0.24		14:00	0.14	0.15	0.21	0.42
	11:00		0.06	0.26	0.03		15:00	0.15	0.10	0.38	0.07
	12:00		0.07	0.22	0.05	16:00			0.20	0.42	
	13:00		0.01	0.25	0.04	Vel..prom. (+)	0.12	0.14	0.21	0.19	
	14:00		0.13	0.23	-0.14	Vel. Prom. (-)	0.21	0.11	-	0.06	
	15:00	0.02	0.03	0.08	0.11						
Vel. Prom. (+)		0.04	0.05	0.14	0.10						
Vel. Prom. (-)		0.05	0.02	-	0.06						

En la figura 3.7, se ha graficado el comportamiento de la corriente litoral para el 5 de agosto de 1995, que predomina hacia el este, teniendo las estaciones 1, 3 y 4 componentes hacia el oeste.

### 5 de agosto de 1995

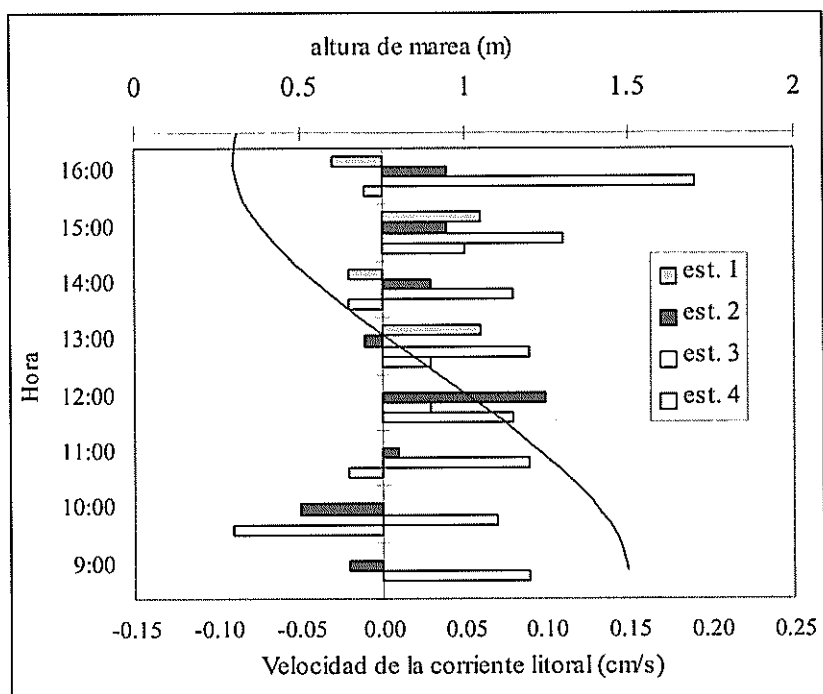


Fig. 3.7. Corrientes Litorales en las 4 estaciones de medición



También se obtuvieron velocidades de corriente litoral en forma teórica con la fórmula que se presenta a continuación y cuyos valores se encuentran en la tabla XXI.

$$V = 2.7 * u_m * \text{sen } \alpha_b \quad (\text{Komar e Inman})$$

$$u_m = \left( \frac{2 * E_b}{\rho h_b} \right)^{1/2} \quad \text{y} \quad E_b = \frac{1}{8} \rho g H_b^2$$

**Tabla XXI.- Corrientes Litorales teóricas**

	E1	E2	E3	E4
<b>Época seca</b>				
$\alpha_b$ (grados mag.)	20	10	30	20
$H_b$ (m)	0.31	0.32	0.29	0.36
VI (m/s)	0.63	0.33	0.87	0.74
<b>Época húmeda</b>				
$\alpha_b$ (grados mag.)	30	15	20	25
$H_b$ (m)	0.35	0.57	0.70	0.44
VI (m/s)	1.04	0.88	1.43	1.11

En general las velocidades teóricas son mayores a las obtenidas en el campo, lo que se explica debido a las condiciones en el momento de las mediciones, pues las fórmulas teóricas, idealizan los efectos físicos, por lo que se requiere realizar mediciones continuas para verificar los valores obtenidos en el campo y con el propósito de realizar las correcciones pertinentes.

### 3.3. Cálculo del Transporte Litoral

Se denomina transporte litoral al movimiento de partículas en la zona costera producido por olas y corrientes (Shore Protection Manual, 1984), se lo ha clasificado de dos formas: transporte perpendicular y transporte paralelo a la línea de costa. En la zona de rompientes gran cantidad del sedimento, sea de fondo o en suspensión, es transportado por la acción de olas y de corrientes litorales, sin embargo, el mecanismo del transporte neto del sedimento no se conoce absolutamente.

En estudios costeros y trabajos de ingeniería efectuados, lo más práctico ha sido establecer la razón del transporte paralelo a la costa, pues la complejidad en cada uno de los procesos, se reduce, mediante consideraciones simples, al usar la teoría de pequeña amplitud de olas; la que es aplicada en el cálculo del transporte a lo largo de la línea de costa. Para el cálculo del transporte perpendicular, se necesita un tratamiento de alto orden.

Al calcular el transporte litoral se usaron los siguientes métodos: método mejorado de Komar (1976), con base en ecuaciones de Bagnold y desarrolladas en su modelo energético del transporte de arena en las playas; el modelo de Cerc y el cálculo de transporte bruto de sedimentos de Galvin, el que proporciona un valor máximo de transporte, basándose en la altura de olas rompientes únicamente.

Las alturas y las velocidades de la corriente litoral usadas, son promedios de las mediciones en cada estación, tanto en cuadratura

como en sicigia, por lo que cada estación tiene un promedio para la época seca y otro para la húmeda. En los cálculos no se ha considerado dirección de velocidades, por lo que los resultados, representan el valor de transporte bruto. Los parámetros utilizados en las ecuaciones son:

Densidad del agua de mar ( $\rho$ )	: 1025 Kg/m <sup>3</sup>
Densidad del sedimento ( $\rho_s$ )	: 2650 Kg/m <sup>3</sup>
Índice de rompiente ( $\gamma$ )	: 0.8 adimensional
$h_b$ profundidad en la rompiente	: 0.50 m
g (aceleración de la gravedad)	: 9.8 m/s <sup>2</sup>
$a'$ (factor de porosidad de la arena)	: 0.6
$K'$ = Coeficiente adimensional de Komar	: 0.28

### Método de Komar:

$$Q_s = \frac{I_s}{((\rho_s - \rho)ga')}$$

$$I_s = \frac{K'(EC_b v_1)}{u_m \cos \alpha_b}$$

$$E_b = \left(\frac{1}{8}\right) \rho g H_b^2$$

$$c_b = \sqrt{gh_b} \quad u_m = \left(\frac{2 * E_b}{\rho h_b}\right)^{1/2}$$

$Q_s$ , transporte litoral (m<sup>3</sup>/s),

$I_s$ , razón de transporte del peso sumergido (N/s)

$E_b$ , energía del oleaje en la rompiente.

$C_b$ , velocidad de grupo de olas en la rompiente

$v_1$ , velocidad promedio de corriente litoral medida en el campo

$u_m$  , máxima velocidad orbital en la rompiente

$H_b$  , altura de la ola rompiente

### **Método de Cerc:**

$$S = AU'$$

$$U = Ec_g$$

$$U' = U \operatorname{sen} \alpha_b \operatorname{cos} \alpha_b$$

$$U' = Ec_g \operatorname{sen} \alpha_b \operatorname{cos} \alpha_b$$

$$S = 0.040(H_s)_b^2 c_b \operatorname{sen} \alpha_b \operatorname{cos} \alpha_b$$

S : Transporte Litoral en m<sup>3</sup>/s

A Coeficiente u factor de conversión

U' componente de la energía de flujo de energía entrando a una longitud igual a una unidad de longitud de la zona de rompiente

E, energía de la ola

Cg, velocidad de grupo de la ola

Hs, altura significativa de ola (m)

### **Método de Galvin:**

$$Q_g = 16.5H_b^2 \times 10^5$$

Q<sub>g</sub>: Transporte Litoral bruto (m<sup>3</sup>/año)

La tabla XXII presenta los valores del transporte resultados de la aplicación de las fórmulas indicadas. En la época seca las estaciones 3 y 4 son las de mayor transporte, y en la época húmeda las estaciones 2 y 3. En general, los resultados indican que en época húmeda el transporte es mayor.

Tabla XXII. Cálculo del Transporte de Sedimento ( $m^3/s$ )

	Hb	vl	Komar	Cerc
<b>Época seca</b>				
<b>e1</b>	0.31	0.078	$9.47 \times 10^{-4}$	$8.648 \times 10^{-4}$
<b>e2</b>	0.32	0.096	$1.15 \times 10^{-3}$	$4.900 \times 10^{-4}$
<b>e3</b>	0.29	0.178	$2.19 \times 10^{-3}$	$1.020 \times 10^{-3}$
<b>e4</b>	0.36	0.1445	$2.04 \times 10^{-3}$	$1.167 \times 10^{-3}$
<b>Época húmeda</b>				
<b>e1</b>	0.35	0.1575	$2.34 \times 10^{-3}$	$1.485 \times 10^{-3}$
<b>e2</b>	0.57	0.185	$4.02 \times 10^{-3}$	$2.274 \times 10^{-3}$
<b>e3</b>	0.7	0.1535	$4.21 \times 10^{-3}$	$4.410 \times 10^{-3}$
<b>e4</b>	0.44	0.0685	$1.22 \times 10^{-3}$	$2.076 \times 10^{-3}$

Para los cálculos anuales, se ha considerado 6 meses de estación seca y 6 meses de estación húmeda, En la tabla XXIII, se observa que Galvin da los máximos valores de transporte de sedimentos, pudiendo considerar los mismos como el límite superior. Por razones de análisis o estudios realizados en otros lugares (Piedra, 1988) se asume que Komar nos da la mejor información sobre el transporte de sedimentos

**Tabla XXIII. Transporte anual de sedimentos en las cuatro estaciones m<sup>3</sup>/año (V)**

	Est. 1	Est. 2	Est. 3	Est. 4
<b>Galvin</b>	193558.75	366602.5	485196.25	284460
<b>Komar</b>	51859.34	81436.47	100923.47	51412.40
<b>Cerc</b>	37055.43	43592.53	85607.33	51128.70

Para establecer pérdidas o ganancias de sedimentos entre estaciones, se realiza la diferencia entre el sedimento que entra y el que sale. Entre E1 - E2 y E2 - E3, existe pérdida de material, es decir erosión. Entre E3 y E4, existe ganancia de material o acreción. Figura 3.8

De acuerdo a Komar:

$$V1 = 51859.34 \text{ m}^3/\text{año} \quad V3 = 100923.47 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$V2 = 81436.47 \text{ m}^3/\text{año} \quad V4 = 51412.40 \text{ m}^3/\text{año}$$

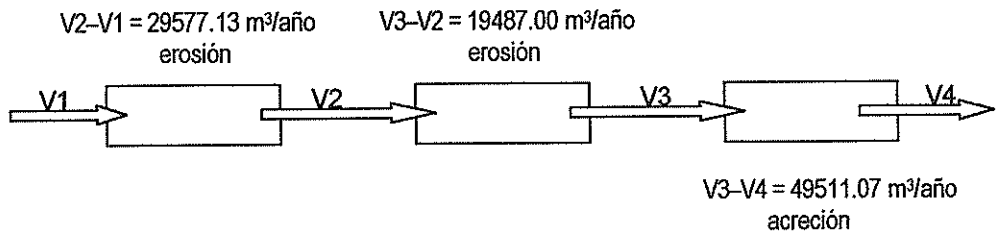


Figura 3.8.- Volumen transportado las cuatro estaciones de medición

Si se considera que la influencia del transporte litoral alcanza 200 m mar adentro y con la distancia entre estaciones conocida, se obtiene el área de influencia entre estaciones. Entonces conocido el volumen desplazado y el área correspondiente, obtenemos la altura de erosión o acreción anual entre estaciones. En la figura 3.8, se observa el volumen idealizado entre estaciones. En la tabla XXIV, se presentan los valores de alturas para cada método.

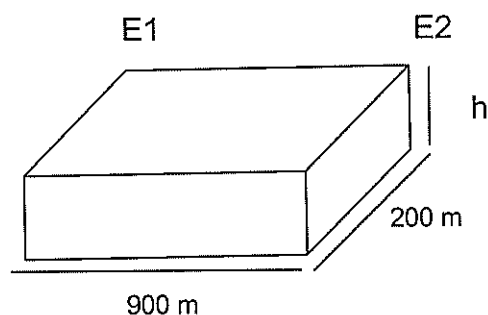


Figura 3.9.- Volumen idealizado de transporte de sedimentos

Tabla XXIV.- Alturas de erosión o acreción entre estaciones (h)

	E1 – E2	E2 –E3	E3 – E4
distancia entre estaciones (m)	900	800	1400
reas (m <sup>2</sup> )	180013.42	160021.80	280027.23
(Galvin) m <sup>3</sup> /año	173043.75	118593.75	200736.25
(Komar) m <sup>3</sup> /año	29577.13	19487.00	49511.07
(Cerc) m <sup>3</sup> /año	6537.10	42014.80	34478.63
(Galvin) m	0.96	0.74	0.72
(Komar) m	<b>0.16</b>	<b>0.12</b>	<b>+ 0.18</b>
(Cerc) m	0.04	0.26	0.12

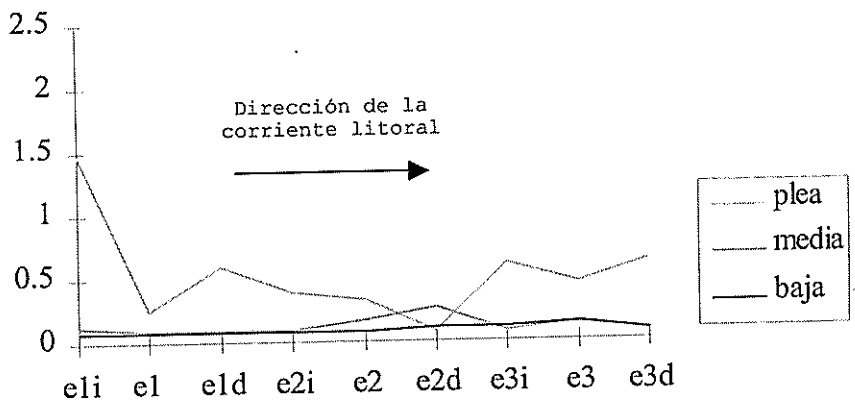
+ Acreción entre estaciones

### 3.3.1. Distribución del sedimento a lo largo de la Línea costera

La distribución del sedimento se relaciona con los procesos de erosión y depositación, la dirección predominante del transporte también se puede deducir a partir de la distribución del tamaño de los sedimentos a lo largo de la línea de costa, la dirección de la velocidad de la corriente litoral suele ser desde lugares donde el tamaño de los sedimentos es mayor hacia aquellos donde es menor. En la figura 3.8, se indica el

diámetro del sedimento, donde se ha incluido la distribución del sedimento para una fecha de muestreo y la tendencia que la dirección del transporte presenta en la zona.

Octubre de 1995



**Figura 3.10. Distribución del sedimento de acuerdo a su tamaño de grano**

Las arenas de mayor tamaño están en la estación 1 y sus alrededores, especialmente en la línea de pleamar. En la estación 1, de material rocoso, el material es más grueso y avanzando hacia el este, el tamaño del material pasa de mediano a fino, lo que induce a suponer que la dirección del transporte es hacia el este, observándose esta tendencia muy claramente en el sector comprendido entre e1 y e3, pues el sedimento progresivamente se ha clasificado de mayor a menor



diámetro, predominando los tamaños finos en las zonas protegidas naturalmente y de poca actividad energética en el oleaje.

Luego de revisar los resultados obtenidos en los puntos anteriores se deduce que el transporte está primordialmente dirigido hacia el este, sin dejar de considerar las componentes litorales hacia el oeste, que sirven para mantener el equilibrio.

### **3.4. Correlación de Parámetros**

Para conocer la relación existente entre los diferentes parámetros analizados en esta tesis, se realizó la correlación de los mismos, la que se mostrará más adelante. También se realizaron análisis gráficos con aquellos parámetros con cuya densidad de datos no permitió realizar las correlaciones respectivas.

Además de conocer que la dirección de las corrientes litorales está directamente relacionada con el ángulo de aproximación de las olas a la costa, es necesario conocer el tipo de relación existente entre la dirección de las corrientes litorales y el estado de marea y la presencia de vientos en la zona. Los valores que contribuyen especialmente a la configuración de la playa son las olas y las corrientes litorales, por lo que con el objetivo de determinar las relaciones existentes entre los diferentes parámetros, se realizaron análisis de información con el propósito establecer correlaciones.

### **3.4.1. Correlación entre Altura de olas y vientos**

Las alturas de olas examinadas corresponden al veril de los 13 m y los vientos a las mediciones de la estación fija de La Libertad. Para la obtención de los coeficientes de correlación se dividió a las series en época seca y época húmeda. Los coeficientes de correlación fueron bajos, para la estación seca de -0.19 y para la estación húmeda de 0.07, es decir que la dirección del viento no tiene incidencia. En la figura 3.11, se muestra la relación entre los datos de alturas y vientos.

Las bajas correlaciones entre vientos locales y altura de olas, corrobora la teoría de que las olas frente a nuestras costas son provocadas por tormentas lejanas y no por vientos locales, los cuales solamente contribuyen en la formación de olas de alturas pequeñas.

### **3.4.2. Correlación entre vientos y corrientes en el veril de los 13 m.**

De la misma manera, al correlacionar las series de corrientes en el veril de los 13 m y vientos, las correlaciones encontradas fueron bajas, para la estación seca de 0.077 y para la estación lluviosa de 0.023. Estos resultados se explican porque las corrientes consideradas corresponden casi al fondo del agua, en donde la acción de los vientos no ejerce influencia. En la figura 3.12, se muestra la relación existente entre los parámetros descritos

### **3.4.3. Correlación entre dirección de vientos y corrientes litorales**

Los vientos predominantes en la época de observación, 9, 10 y 11 de marzo de 1995, provienen del oeste y del norte, los mismos que inducen a la corriente hacia el sureste, desplazada 30 grados a la izquierda de la dirección del viento de acuerdo a Ekman. y como se observó anteriormente el transporte litoral ocurre en la dirección este, se confirma la relación entre las corrientes litorales y la dirección del viento. De acuerdo a los máximos valores de velocidad, 5 m/s, se deduce que éstos, no provocan corrientes d gran magnitud en la zona.

### **3.4.4. Correlación entre las mareas y las corrientes litorales**

Las mareas y las corrientes litorales se correlacionan con altos índices, en el mes de marzo del 1995 se encontraron correlaciones de hasta 0.78. La estación 4, es un caso especial, pues en ninguno de los días de observación, mostró una correlación mayor a 0.47.

Estación 1.- 0.78

Estación 2.- 0.62

Estación 3.- 0.62

Estación 4.- 0.45

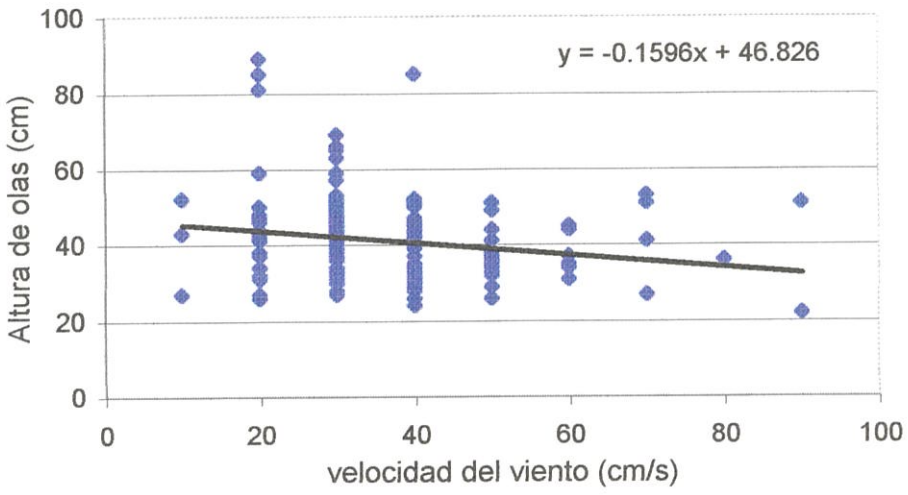


Figura 3.11a. Correlación entre olas y vientos época seca

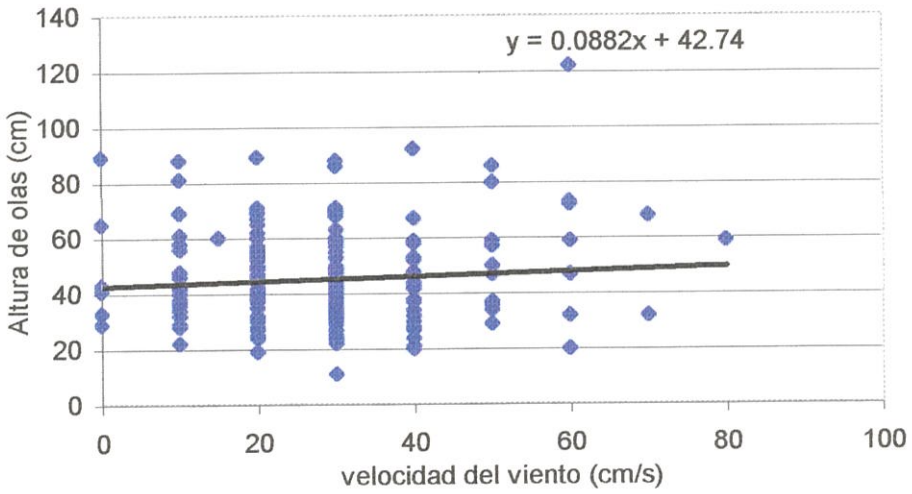


Figura 3.11b. Correlación entre olas y vientos época húmeda

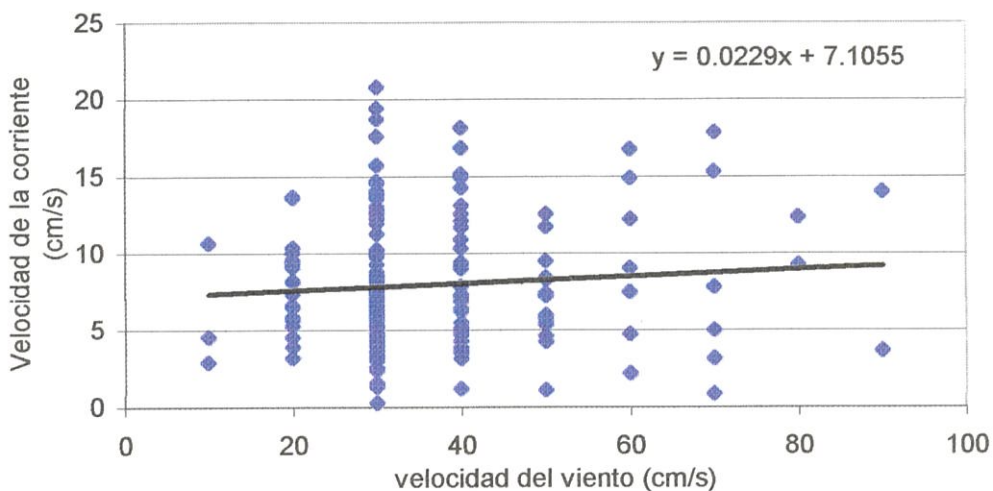


Figura 3.12.a. Correlación entre corrientes y vientos época seca

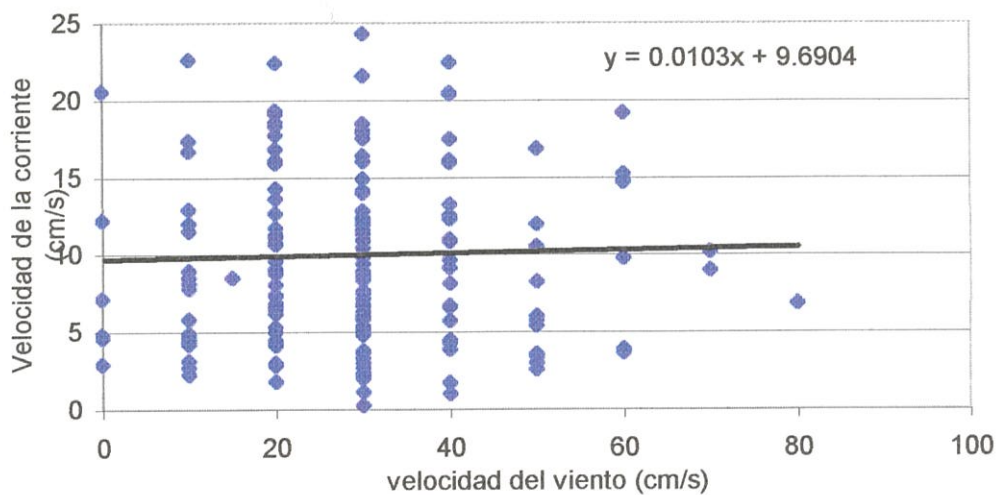


Figura 3.12.a. Correlación entre corrientes y vientos época húmeda

### 3.5. Impactos de los procesos costeros en la Línea de Costa

Los procesos litorales ocurren como resultado de la acción combinada de vientos, olas, corrientes, mareas, movimiento del sedimento y otros tipos de fenómenos que ocurren sobre la zona costera. Una playa puede mantenerse estable, erosionarse o crecer, siendo los dos últimos procesos los que ocasionan graves problemas en las zonas afectadas. En el capítulo anterior se realizó la recopilación de cada uno de estos factores que de acuerdo a su forma de acción le proporcionan características litorales únicas a esta zona costera.

Los mayores factores que provocan impactos sobre la zona costera, son las olas, aguajes y marejadas, estas últimas ocurren en condiciones extremas como ante la ocurrencia de un evento océano atmosférico o ante la ocurrencia de tormentas en el Pacífico Central, desde donde generalmente proviene el oleaje incidente en esta zona.

La zona de La Libertad, al igual que otras playas del Litoral ecuatoriano fue severamente afectada en los años 1982-1983, cuando ocurrió el fenómeno del Niño. En la serie de fotografías de ese año (figura 3.13), tomadas el día en que ocurrieron los máximos oleajes, se puede apreciar olas de varios metros de altura, que sobrepasan los promedios registrados en el banco de datos de INOCAR, de donde se conoce que la altura promedio de las olas no llega al metro.

Siguiendo la secuencia fotográfica se observa la destrucción dejada por el fuerte oleaje en el malecón de La Libertad, el cual hasta no ha sido restaurada en su totalidad, se observa el estado de destrucción

en que quedó El Malecón, luego del azote del fuerte oleaje, que en suma fue el principal causante de los daños ocasionados.

Las fotos fueron tomadas durante el evento de el Niño 1997-1998, (figura 3.14), siendo el oleaje fuerte, provocando destrucción en la zona de playa y urbana.

En estas fotografías todavía quedan rezagos de lo que fue la destrucción del malecón y de algunas construcciones cerca de la línea de costa, esta área es muy dinámica y en marea alta la calle del Malecón es atacada por la acción de las olas. Hasta la fecha las construcciones ubicadas frente a la playa sufren el constante acoso de las marejadas, muchas de las casas de esos lugares han sido abandonadas por el temor a que sean arrasadas por el mar.

El nivel del mar también aumenta con un evento anómalo como el Niño, ocasionando erosión o sedimentación y provocando un cambio en la línea de costa, lo que resulta muy peligroso pues si aumenta el nivel del mar, se inundarían tierras de uso de tierra humana, ya sean tierras de siembra o de vivienda, lo que ocurrió en La Libertad, pues en el año en mención La Libertad se inundó y provocó innumerables daños.

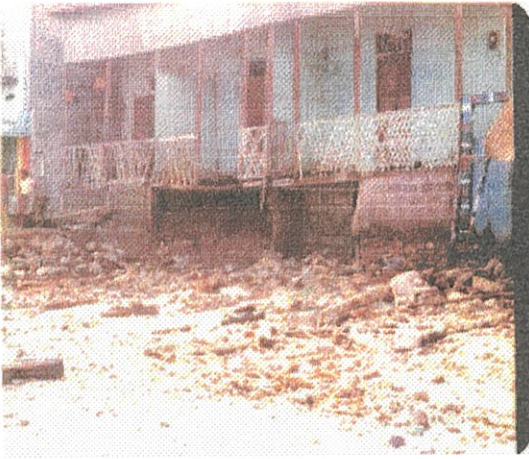


Figura 3.13a.- Daños ocasionados por El Niño 1982-1983 en el malecón de La Libertad





Figura 3.13b. Daños ocasionados por El Niño 1982-1983 en el malecón de La Libertad



Figura3.14a. Daños ocasionados por El Niño 1997-1998 en La Libertad



Figura 3.14b. Daños ocasionados por El Niño 1997-1998 en La Libertad



Figura 3.14c. Daños ocasionados por El Niño 1997-1998 en La Libertad

### 3.6. Perfiles Perpendiculares a la Línea de Playa

Los perfiles perpendiculares a la línea de costa han sido realizados desde la línea de playa hasta 200 m mar adentro, como se indica en la figura 3.15, cuya ubicación es la misma que la de las estaciones de transporte de sedimentos, incluyendo un perfil adicional entre las estaciones 3 y 4. Se han trazado en tres perfiles por estación, a partir de tres publicaciones existentes de la carta náutica 10520, correspondiente a La Libertad, de los años 1980, 1988 y 1995. como se indica en la figura 3.14.

Los procesos erosivos han predominado entre las estaciones 1 y 3, siendo más evidente el proceso en la estación 1, lo que es corroborado con las observaciones visuales, que demuestran que esta zona es la más afectada, a partir de la estación 3a los perfiles demuestran cierta recuperación. Inclusive a partir de los 175 m los procesos erosivos dan lugar a perfiles que no han cambiado en el tiempo.

Los perfiles realizados a partir del nivel "0", correspondiente al Nivel medio de las bajamares de sicigia, nos indican que a partir de la línea de costa hasta los 200 m, se han producido procesos de erosión y depositación, con predominio de la erosión, siendo la excepción la estación 4, en donde la depositación es de importancia y ha predominado significativamente. Los valores están dados en  $m^2$ /por unidad de ancho

**Tabla XXV.- Sedimentación en las estaciones de muestreo en m<sup>2</sup>/por unidad de ancho**

Estación	Erosión 1980-1988	Acreción 1980-1988	Erosión 1988-1995	Acreción 1988-1995
1	29		<b>189</b>	6
2	2.5	52.5	120	
3	26.5	25	22.5	5
3a	78.75		15	30
4	106.25	82.5		<b>122.5</b>

Si considera que los perfiles fueron realizados desde la línea de la más baja marea hasta los 200 m mar adentro, y con las distancias entre estaciones indicadas en la tabla XXIV, se obtiene el promedio de transporte anual entre estaciones y se lo compara con los obtenidos por Komar y Cerc.

	Perfiles	Komar	Cerc	
E1 - E2:	22725.00 m <sup>3</sup>	29577.13 m <sup>3</sup>	6537.10 m <sup>3</sup>	erosión
E2 - E3:	9167.00 m <sup>3</sup>	19487.00 m <sup>3</sup>	42014.80 m <sup>3</sup>	erosión
E3 - E4:	16040.00 m <sup>3</sup>	49511.07 m <sup>3</sup>	34478.63 m <sup>3</sup>	acreción

La variación de resultados entre el método de perfiles y los de Komar y Cerc (estos últimos son mayores), se debe a que los perfiles se hicieron desde la línea de MLWS hasta mar adentro y no se consideró el transporte en la berma de playa, por lo que los resultados deducidos de los perfiles se deben complementar con el volumen de transporte en la berma de la playa, sin embargo no se realiza el cálculo por no contar con información de perfiles de playa en esa zona.

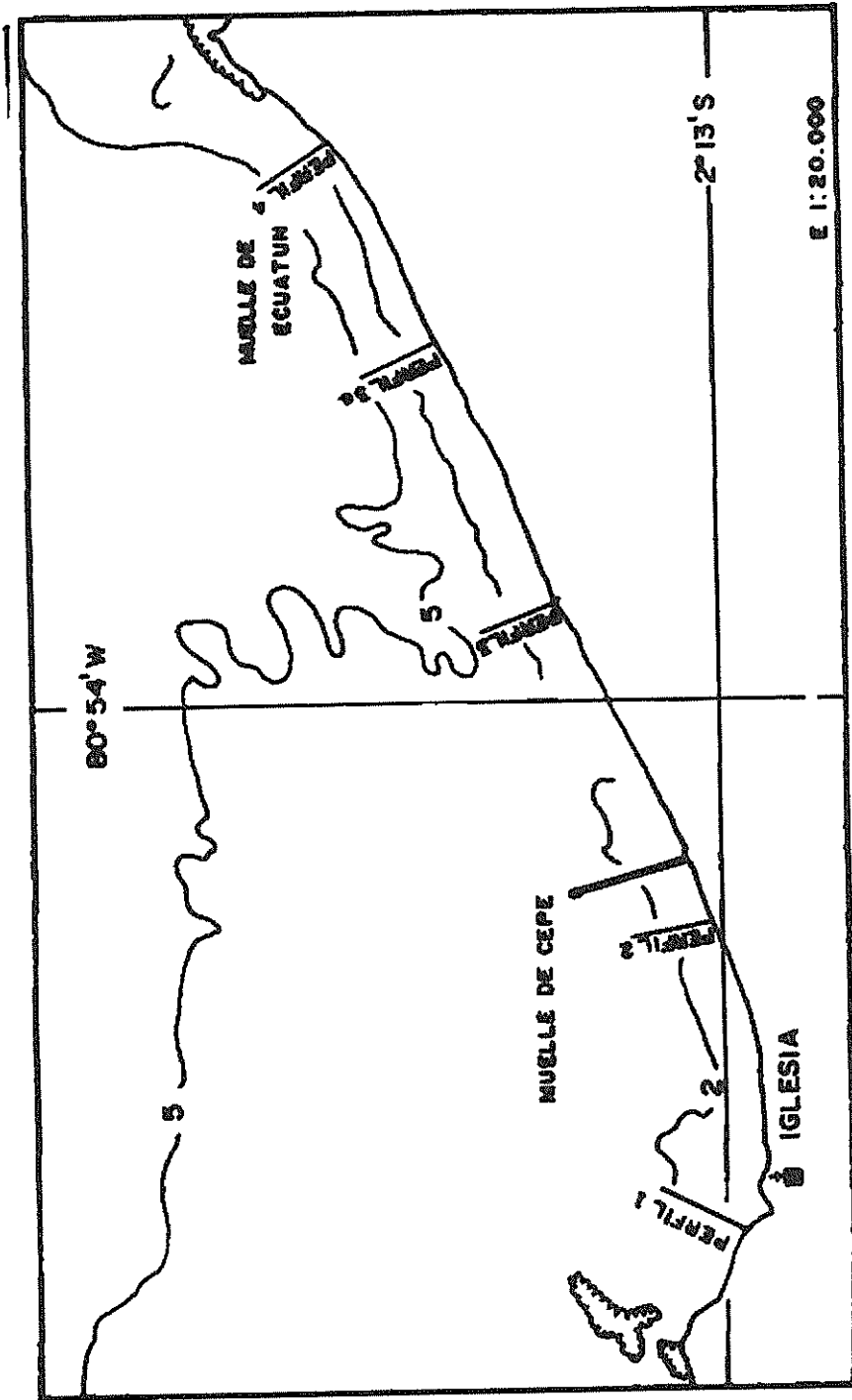


FIG. 313.— UBICACION DE PERFILES PERPENDICULARES

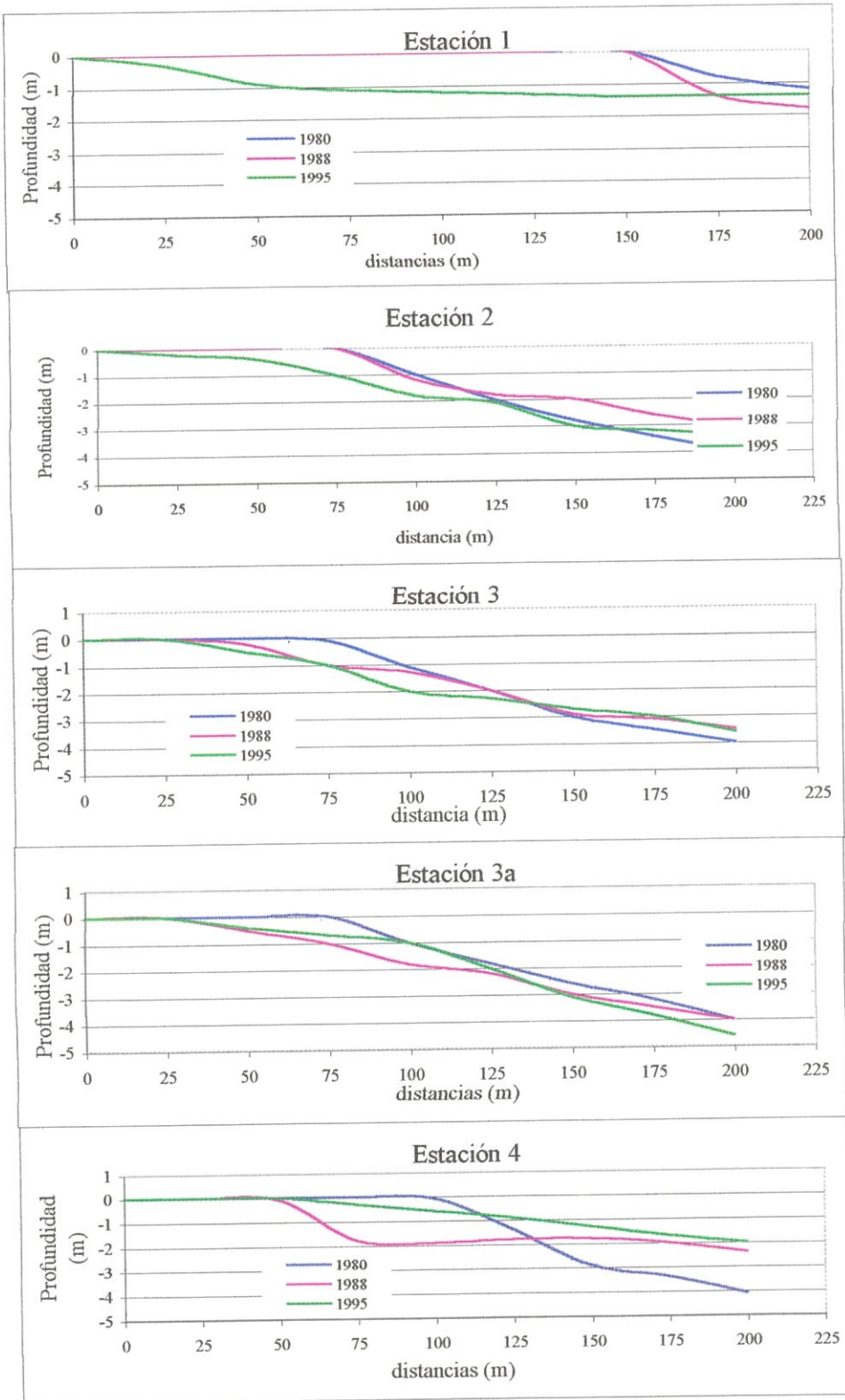


Figura 3.14. Perfiles perpendiculares a la Línea de Costa

Nota: El nivel "0", corresponde al MLWS (mareas más bajas de sicigia) de las cartas batimétricas



### 3.7. Variación en la Línea de Costa

Para analizar los cambios ocurridos en la línea de costa de La Libertad se hicieron comparaciones con tres cartas batimétricas publicadas por INOCAR en 1980, 1988 y 1995.

En las cartas batimétricas de 1980 y 1988 no se encuentran grandes cambios, a pesar de que en la época del Niño la acción del oleaje sobre el Malecón de La Libertad, fue de gran intensidad, lo que ha sido corroborado con fotografías tomadas durante ese evento, entonces la escasa diferencia existente, se explica porque la carta publicada en 1988 constituye una segunda edición de la anterior, es decir que se hicieron correcciones únicamente en sitios puntuales y no en toda el área que abarca la carta.

Para establecer las comparaciones sobre lo ocurrido en la Línea de Costa es más conveniente utilizar las cartas de 1980 y 1995 por ser ediciones distintas del mismo sitio, en donde se ha realizado una actualización a lo largo de toda la Costa, correspondiente a la zona de estudio.

Realizando un recorrido oeste–este sobre la Línea Costera, se observa que el perfil de 1995 retrocedió en casi toda la extensión, una longitud aproximada de 30 m paralela a la playa antes de llegar a la zona de la iglesia ha sufrido acreción, pero en forma general la erosión predomina, especialmente en las cercanías del muelle de Petroecuador, donde se encuentra ubicado el mareógrafo, con un retroceso de la línea de costa en aproximadamente 40 m tierra adentro, a ambos lados del muelle, por

lo que en forma general se podría decir que la línea de playa ha retrocedido un promedio de 2 m por año, por lo que esta zona es considerada de mucha energía, figura XXVI.

Al establecer las relaciones de retroceso de playa con la altura erosionada entre los años 1980 y 1995 y con la pendiente de playa, se determina el promedio de altura de erosión para las estaciones 1 y 2 únicamente, debido a que no se posee información batimétrica de las estaciones 3 y 4. Para este cálculo se ha considerado un retroceso promedio de 35 m en 15 años, tabla XXVI

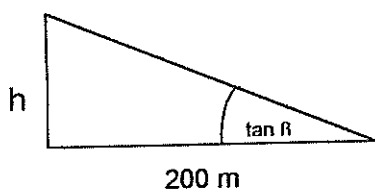


Tabla XXVI.- Alturas erosionadas de acuerdo a cartas batimétricas

	E1	E2
Pendiente de playa ( $\tan \beta$ )	0.01	0.037
Altura (m)	0.07	0.25

La altura de erosión obtenida por este método indica que la erosión en la estación 1 es menor que en la estación 2, lo que se explica por características de fondo rocoso de la estación 1, que ocasiona que la pérdida de material sea más lenta y la pendiente de playa menor.

Cuando se observa el Malecón de La Libertad, por los alrededores de las oficinas de Pacifictel, el cual todavía no ha sido reconstruido,

es obvia en toda la extensión, la fuerte acción realizada por el oleaje sobre la zona costera, en donde se han ido sumando los efectos dejados por los eventos anómalos, que ocurren cada cierto período y cuyos efectos la naturaleza por sí misma, no es capaz de restaurar. La erosión es un problema que permanece latente cada vez que el mar arremete con fuerza, dejando secuelas impresionantes.

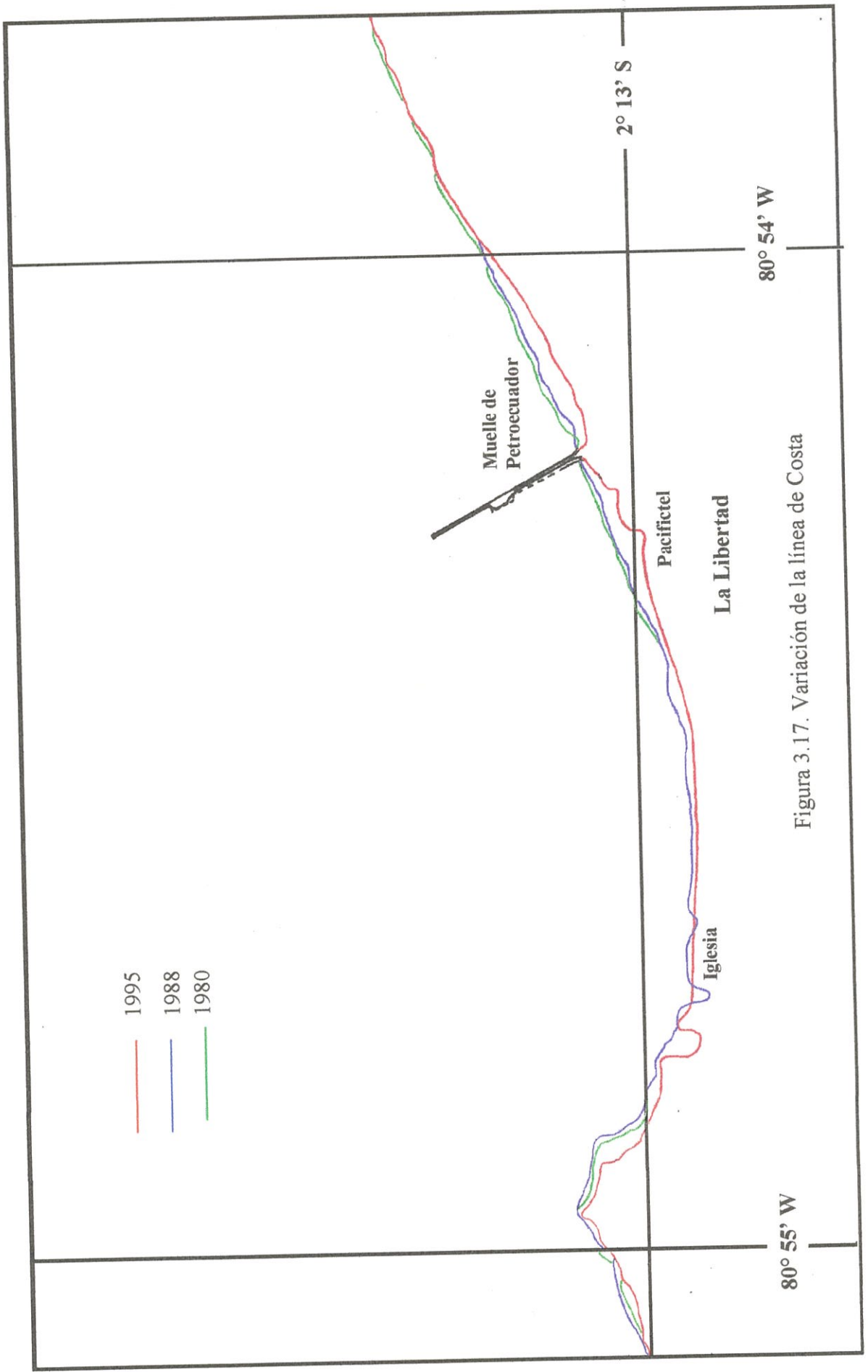


Figura 3.17. Variación de la línea de Costa

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La playa de La Libertad es de características erosivas, lo que ha quedado demostrado en el análisis de los diferentes parámetros considerados en esta Tesis..
- Los eventos anómalos que ocurren en la naturaleza, tales como El Niño y las marejadas producto de tormentas ocurridas en el Pacífico, son las principales causantes de los daños en el Malecón de La Libertad, pues las olas de gran altura destruyen en cuestión de horas estructuras que se han mantenido firmes por años, lo que se puede observar en las fotografías mostradas.
- El nivel del mar <sup>se</sup> ~~en~~ aumenta considerablemente durante eventos El Niño, habiendo alcanzado los 32 cm, sobre la normal, lo que contribuyó a la erosión de la zona.
- La estación del año tiene un papel importante en los procesos costeros, observándose que en la estación húmeda las condiciones de erosión son mayores, especialmente por la presencia de las lluvias que contribuyen a la erosión de los acantilados que bordean la costa.

- Los perfiles de playa corroboran que la erosión está presente al menos hasta los 200 m desde la línea de las más bajas mareas hasta mar adentro, siendo las estaciones 1 y 2 las más afectadas, comprobándose que el material tiende a irse desde estas estaciones hacia el este.
- Las zonas aledañas a las estaciones 1 y 2, son las más propensas a los procesos erosivos, mientras que en las estaciones 3 y 4, se observa acreción en la berma.
- Debido a las características erosivas de la zona de estudio, es necesario emprender un proyecto de mediciones periódicas de perfiles perpendiculares a la línea de playa que comprendan la zona desde el inicio del malecón hasta la línea de más baja marea. No se cuenta con esta información histórica imprescindible que permita conocer el comportamiento de las variaciones en el perfil de playa ya sea por eventos anómalos o por cambio de estación anual. Todo esto permitirá realizar evaluaciones en el tiempo y espacio. Debido a que la zona central ha resultado ser la más crítica se recomienda realizar las mediciones por lo menos en un punto localizado entre las estaciones 1 y 2.
- Otro aspecto de consideración son las características geológicas del área, la presencia de material rocoso en la estación 1 ocasiona que la erosión se efectúe lentamente en esta zona a pesar de que las condiciones oceanográficas no varíen.

- Estudios adicionales sobre impactos ambientales, deben ser realizados en el área, pues no existe información sobre este tema y son de significativa importancia para la planificación y ejecución de obras.
- Una vez realizados los estudios oceanográficos y de impacto ambiental se sugiere iniciar un plan de protección de playa, especialmente en la zona céntrica de La Libertad, se debe considerar especialmente la presencia de olas de gran energía que se presentan cada vez que ocurre el evento El Niño, las cuales al romper alcanzan algunos metros de altura (observaciones visuales), por lo que las obras ingenieriles deben ser realizadas considerando este fenómeno.

# BIBLIOGRAFÍA

1. ALLAUCA Y CARDÍN, Análisis de las olas en la costa central del Ecuador, Acta Oceanográfica del Pacífico, Vol IV, INOCAR 1987
2. ALLAUCA Y LUCERO. Estudio de la Circulación Costera frente al Puerto de La Libertad (Ecuador), con flotadores, Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol. VII, 1992.
3. ALLAUCA, S. Presencia de la Corriente Costanera Ecuatoriana. Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol. VI, 1990.
4. ANDRADE, BRAVO, NOBOA Y SANTOS, Soluciones Ingenieriles a los Problemas erosivos de la Libertad", Tópico de Graduación, ESPOL, 1992.
5. ARCOS V., Programa de Caracterización y Vigilancia de la Contaminación Marina a partir de fuentes Domésticas, Agrícolas, Industriales y Mineras en Áreas Ecológicamente sensibles del Pacífico Sudeste. Evaluación de la presencia de Metales Pesados. Informe Técnico de lo parámetros asignados: Hierro – Cobre – Zinc, 1985



6. COASTAL ENGINEERING GROUP. Department of Civil Engineering. Delft University of Technology. Coastal Engineering Vol. I y II, 1978
7. ENFIELD, D. Oceanografía de la región norte del frente ecuatorial: Aspectos Físicos, INOCAR 1975
8. INOCAR, Estudios Oceanográficos y Geológicos en La Libertad, Memoria Técnica, 1995
9. INOCAR, Hidrocarburos del Petróleo Disueltos y Dispersos en la zona costera, Informe preliminar, 1990.
10. INOCAR, Tablas de Mareas y datos Astronómicos del Sol e de La Luna, 1994 y 1995
11. JÁCOME Y LLANOS. Influencia de los Procesos Costeros en las Características Sedimentológicas en el Área de la Península de Santa Elena Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol. VII, 1992.
12. KOMAR, P. Beach Processes and Sedimentation, 1978.
13. MEDINA Y CAMPAÑA, "Caracterización y vigilancia de la Contaminación Marina a partir de Fuentes Domésticas, Agrícolas y Mineras en Áreas Ecológicamente sensibles del Pacífico Sudeste (Parámetros Físicos – Químicos)", Plan de Acción para la protección del medio ambiente y áreas costeras del Pacífico Sudeste, 1987

14. PIEDRA, J. Procesos Litorales en San Pedro – Valdivia, Tesis de Grado, ESPOL, 1990
15. PMRC. Ecuador Perfil de sus Recursos Costeros, 1987.
16. SÁNCHEZ, E. Transporte litoral en General Villamil Playas, Tesis de Grado, ESPOL, 1978.
17. SECRETARÍA DE LA ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Guía para el Análisis y Pronóstico de las Olas, 1988
18. SORENSEN, R. Basic Coastal Engineering, 1978
19. U.S: ARMY COSTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER, Shore Protection Manual, Department of the Army Corps of Engineering, Vol. I, INOCAR, 1977.