

ANÁLISIS DE LOS PROCESOS COSTEROS EN LA LIBERTAD

Por:

Leonor Vera San Martín

ABSTRACT

For the present study of coastal processes very important oceanographic parameters have been considered. Information based on several years of measurements have been gathered from which normal behavior tendencies was obtained.

All the information is analyzed and the corresponding equations are applied for the calculation of the coastal processes, with the use of three different methods, proposed by Galvin, Komar and Cerc, these values are compared in order to establish the differences based on the practice and studies carried out previously. According to the results and to the analyses carried out on the Ecuadorian coasts, but after all, the conclusion was that the most suitable method to be applied is Komar

Finally bathymetrics, beach profiles and pictures of the area are analyzed in order to establish the changes on the coastal line and in the coast area specifically, to determine the quality and quantity the influence of the action on the coastal processes in La Libertad and the erosive pattern of the area.

RESUMEN

Para el presente estudio de procesos costeros se han considerado los principales parámetros oceanográficos, se ha recopilado y obtenido información producto de algunos años de mediciones, de los cuales se obtuvieron las normales y tendencias de comportamiento

Se analiza toda la información y se aplican las ecuaciones correspondientes para el cálculo de los procesos costeros, 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.

INTRODUCCIÓN

La Libertad es una ciudad importante dentro de la vida socioeconómica del país, pero sus amplias playas 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.

Para la realización de este estudio, se ha elegido un área que cubre 4 Km, paralelos a la Línea de playa en La Libertad, figura 1.

La recopilación de la información histórica se la realizó principalmente en el Instituto Oceanográfico de la Armada, considerando series de datos de hasta 40 años, especialmente en los parámetros meteorológicos, estudio y análisis de cartas batimétricas, 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.

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 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.

RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN

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 de ón de La Libertad, en el veril de los 13 m, durante noviembre y diciembre de 1994 (época seca), y febrero y marzo de 1995 (época húmeda), en la posición indicada en la figura 1

Olas

Los valores de altura de olas registrados para la época seca corresponden a promedios diarios con altura promedio de 0.41 m, en la época húmeda la altura media fue de 0.48 m. En la figura 2 se ha graficado las ocurrencias de alturas significativas para ambas épocas, en la estación seca, el rango de alturas varía entre 0.20 y 0.98 m y en la época húmeda entre 0.19 y 1.22 m.

En comportamiento del periodo de olas es diferente, no se observa la misma variabilidad estacional, el periodo osciló entre 8 y 23 s, con un promedio general de 15 s. El rango más frecuente está entre 13 y 16.9 s, con 74 % de ocurrencia; siendo importantes períodos entre 11 y 12.9 s y entre 19 y 20.9 s, con aproximadamente 13.7 % y 10. % de ocurrencia respectivamente.

En ambas estaciones la longitud de las ondas tiene valores desde 110 m hasta 230 m, con un promedio de 155 m. Por la relación entre la profundidad del sitio de medición y la longitud de onda se considera olas de aguas intermedias, pues para casi todo el registro de datos se cumple la relación $0.5 > h/L > 0.05$.

Corrientes

La información de corrientes corresponde a mediciones realizadas con los métodos Lagrangiano y 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 (época seca) y marzo de 1995 (época húmeda).

La información recopilada sobre corrientes en la estación seca, indica la influencia de los vientos del SW y W, que inducen el flujo hacia el NE y E. En la época húmeda la dirección de los flotadores, depende más de las mareas que de los vientos. En general en las dos estaciones existe 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. Figura 3.

Las magnitudes de velocidad en superficie y en el nivel subsuperficial, están entre 0.24 y 0.05 m/s, con valores ligeramente mayores en la época seca, durante la sicigia y a nivel superficial.

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).

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

En la estación húmeda, aparece más marcada la componente hacia el este en el flujo, (34.01 %), es importante también la presencia de una componente noroeste (14.17 %). En el reflujo, la componente oeste también está presente y en mayor porcentaje (52.8 %), existe también una componente noroeste con 31.6 % de frecuencia, la cual es muy débil en la época seca. Los valores de corrientes fueron un poco mayores a la época seca; con un máximo de 0.43 m/s de dirección noroeste en sicigia y con un máximo de 37 m/s en cuadratura, ambos valores se registraron durante el reflujo. El valor promedio durante este período fue de 10 m/s.

Mareas

Las amplitudes de las pleamares oscilan entre 2.5 m durante la sicigia y 1.4 m. en la cuadratura. El registro de mareas se lo obtuvo del olígrafo instalado en La Libertad en los meses de febrero y marzo de 1995.

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 embolsadas 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.

Sedimentos de fondo

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), indica el tipo de textura del material. El material encontrado es principalmente arenoso, variando su tamaño de sedimento arenoso a limo-arenoso:

Vientos

Las mediciones en la estación meteorológica de INOCAR en La Libertad, a 10 m sobre el nivel del mar, indican que los vientos predominantes durante casi todo el año son del SW y W, con una intensidad promedio de 3.8 m/s.

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 %.

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%.

La velocidad del viento tiene valores promedios de máximo 4.84 m/s. Las mayores velocidades se presentan durante los meses de junio a diciembre.

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, y los meses de febrero y marzo son los de mayor precipitación, fig. 4

La precipitación anual es severamente alterada en los años en que se presenta el evento El Niño, cuando el promedio de precipitación suele ser más alto, como ocurrió en los años 1992, 1997 y 1998. 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.

Nivel del mar

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 tabla I, se encuentran registrados los valores medios y máximos observados durante el período de medición (1948 - 1999).

De mediciones en La Libertad desde 1948 hasta 1999, se obtiene el gráfico de la normal del nivel medio del mar y la multianual, que usa para comparar años con la presencia de algún evento oceánico-atmosférico (1982, 1983, 1997 y 1998) con años normales (1994 y 1995). En la figura. 5 se observa el comportamiento del nivel medio del mar durante un evento El Niño, en este caso el de 1997-1998.

RECOLECCIÓN DE DATOS

Se realizaron mediciones de los siguientes parámetros

Olas rompientes

Alturas

Los datos de alturas de olas rompientes correspondientes a La Libertad, fueron obtenidos en las 4 estaciones de muestreo indicadas en la figura 6 y se las describe en la tabla II, 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.

Las alturas rompientes son influenciadas por la época del año. En la estación seca, las alturas son menores que en la húmeda.

Períodos

Los periodos en las estaciones están entre 11.1 y 20 s, tabla III. 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.

Dirección

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

- Estación 1: 85°
- Estación 2: 70°
- Estación 3: 65°
- Estación 4: 50°

La cresta de la ola forma ángulos de entre 10° y 30° con la línea de costa de cada estación, lo que induce una corriente litoral hacia la derecha, ver figura 6.

	Época seca	Época húmeda
• E1	20	30
• E2	10	15
• E3	30	20
• E4	20	25

Sólidos en suspensión en la rompiente

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.

En la época húmeda los valores de concentración son mayores, pero no existe una tendencia definida por fases de marea, ni por estación, por lo que no se puede concluir algo definitivo basándose en estas mediciones.

La mayor concentración ocurrió 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.

Corriente Litoral

Se realizaron mediciones de corrientes litorales en las cuatro estaciones, en marzo, estación húmeda; y en 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, hacia el este y oeste; en cuadratura las magnitudes de las corrientes alcanzan un máximo de 0.51 m/s, y 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 IV.

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 V.

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. Sin embargo no se debe dejar de considerar las componentes litorales hacia el oeste.

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 VI.

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

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

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

TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Parámetro de surging

Las olas al llegar a la playa siendo tres las formas básicas de ruptura olas de volteo, de derrame y de surfing.

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 la playa de La Libertad. tabla VII

$\varepsilon = (H_b) / (gT^2 \tan \beta)$ parámetro de surging, donde

- $\varepsilon > 7.5 \times 10^{-2}$; rompiente tipo derrame
- $5.1 \times 10^{-3} < \varepsilon < 7.5 \times 10^{-2}$, rompiente tipo volteo
- $\varepsilon < 5.1 \times 10^{-3}$ rompiente de surfing

H_b : altura rompiente,

T : período,

$\tan \beta$: pendiente de la playa.

La tabla VII 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 surfing, sin embargo, debido a que el valor obtenido en el cálculo (4.98×10^{-3}), es muy próximo al límite inferior de las olas tipo volteo (5.1×10^{-3}), se deberían realizar nuevas observaciones de los datos de entrada.

Refracción de Olas

Para realizar los diagramas de refracción, que se encuentran en la figura 7, 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. Luego de realizar los diagramas de refracción de olas, se obtuvo los siguientes valores de K_r para cada ángulo de ingreso:

Direcciones:	210	280	320
• Con 14 segundos:	0.60	0.68	0.80
• Con 16 segundos:	0.76	0.74	0.69

Cálculo del Transporte Litoral

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 (ρ) : 1025 Kg/m³

Densidad del sedimento (ρ_s) : 2650 Kg/m³

Índice adimensional de rompiente : 0.8

h_b profundidad en la rompiente : 0.50 m

g (aceleración de la gravedad) : 9.8 m/s

a' (factor de porosidad de la a-r-e-na) : 0.6

K' = Coeficiente adimensional de Komar : 0.28

Método de Komar:

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

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

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

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

Q_s , transporte litoral (m³/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_l , 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:

$$S = AU$$

$$U = Ec_g$$

$$U' = U \sin \alpha_b \cos \beta_b$$

$$U' = Ec_g \sin \alpha_b \cos \beta_b$$

$$S = 0.040 (H_s)_b^2 c_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

S : Transporte Litoral en m³/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

C_g, velocidad de grupo de la ola

H_s, altura significativa de ola (m)

Método de Galvin:

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

Q_g: Transporte Litoral bruto (m³/año)

La tabla VIII 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.

Para los cálculos anuales, se ha considerado 6 meses de estación seca y 6 meses de estación húmeda. En la tabla IX, 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

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 8

$$V1=51859.34 \quad V2=81436.47 \quad V3=100923.47 \quad V4=51412.40$$

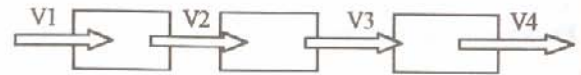


Figura 8.- Volumen transportado las cuatro estaciones de medición

$$V2-V1=29577.13 \text{ m}^3/\text{año} \quad (\text{erosión})$$

$$V3-V2=19487.00 \text{ m}^3/\text{año} \quad (\text{erosión})$$

$$V3-V4=49511.07 \text{ m}^3/\text{año} \dots (\text{acreción})$$

Si se considera que la influencia del transporte litoral alcanza 200 m mar adentro y con la distancia entre ecuaciones 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 9, se observa el volumen idealizado entre estaciones. En la tabla X, se presentan los valores de alturas para cada método.

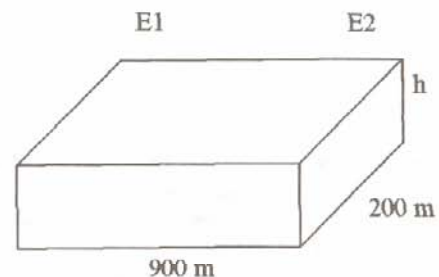


Figura 9.- Volumen idealizado de transporte de sedimentos

CÁLCULOS CUALITATIVOS DE EROSIÓN**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, figura 10, 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

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 siccigia, 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 m²/por unidad de ancho, tabla XI.

Variación en la Línea de Costa

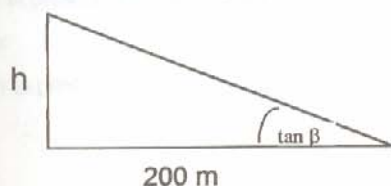
Para analizar los cambios ocurridos en la línea de costa de La Libertad se hicieron comparaciones con tres cartas batimétricas publicadas por INOCAR en 1980, 1988 y 1995.

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 11.

Al establecer las relaciones de retroceso de playa con la altura erosionada entre los años 1980 y 1995 y con la pendiente de playa de cada estación, se determina el promedio de altura de erosión o de acreción para cada estación, para este cálculo se ha considerado un retroceso promedio de 35 m en 15 años, tabla XII



Las alturas de erosión obtenidas por este método, guardan

relación con las obtenidas con los cálculos teóricos de Komar. No se ha obtenido información de la estación 4, porque no se cuenta con batimetría en esa área.

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

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 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 costa 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 encuentra cierta recuperación de playa.

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

ALLAUCA Y CARDÍN, 1987, Análisis de las olas en la costa central del Ecuador, Acta Oceanográfica del Pacífico, Vol IV, INOCAR

ALLAUCA Y LUCERO, 1992. Estudio de la Circulación Costera frente al Puerto de La Libertad (Ecuador), con flotadores, Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol. VII.

ALLAUCA, S., 1990 Presencia de la Corriente Costanera Ecuatoriana. Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol. VI.

ANDRADE, BRAVO, NOBOA Y SANTOS, Soluciones Ingenieriles a los Problemas erosivos de la Libertad", Tópico de Graduación, ESPOL, 1992.

ARCOS V., 1985, 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,

COASTAL ENGINEERING GROUP, 1978. Department of Civil Engineering. Delft University of Technology. Coastal Engineering Vol. I y II,

ENFIELD, D. 1975, Oceanografía de la región norte del frente ecuatorial: Aspectos Físicos, INOCAR

INOCAR, 1990, Estudios Oceanográficos y Geológicos en La Libertad, Memoria Técnica, 1995

INOCAR, Hidrocarburos del Petróleo Disueltos y Dispersos en la zona costera, Informe preliminar.

INOCAR, 1994 y 1995, Tablas de Marcas y datos Astronómicos del Sol e de La Luna,

JÁCOME Y LLANOS, 1992. Influencia de los Procesos Costeros en las Características Sedimentológicas en el Área de la Península de Santa Elena Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol. VII.

KOMAR, P., 1978, Beach Processes and Sedimentation.

MEDINA Y CAMPAÑA, 1987 "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,

PIEDRA, J. 1990, Procesos Litorales en San Pedro - Valdivia, Tesis de Grado, ESPOL,

PMRC. 1987, Ecuador Perfil de sus Recursos Costeros.

SÁNCHEZ, E. 1978, Transporte litoral en General Villamil Playas, Tesis de Grado, ESPOL.

SECRETARÍA DE LA ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL 1988, Guía para el Análisis y Pronóstico de las Olas,

SORENSEN, R., 1978, Basic Coastal Engineering.

U.S. ARMY COSTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER, 1974, Shore Protection Manual, Department of the Army Corps of Engineering, Vol. I, 20. INOCAR, 1977.

Tabla I.- 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	266.19	271.50	*
1951	265.35	279.00	*	1977	258.62	265.40	
1952	260.48	265.00		1978	260.99	266.60	
1953	267.28	274.30	*	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	265.58	288.80	***
1957	275.21	283.80	**	1983	273.10	294.20	***
1958	266.46	278.10	**	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	272.5	305.3	***
1972	268.68	278.20	**	1998	265.5	317.1	***
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

Tabla II. Altura de olas rompientes en La Libertad

		Alturas (m)				
		Estaciones				
		Fecha	E1	E2	E3	E4
Época Seca	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	0.19	0.30	0.48
		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
	Prom. Época seca		0.31	0.32	0.29	0.36
Época Húmeda	Cuadratura	09/03/95	0.31	0.24	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	1.14	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
	Prom. Época		0.35	0.57	0.70	0.44

Tabla III. Períodos de olas rompientes en La Libertad

		Período (s)				
		Fecha dd/mm/a	E1	E2	E3	E4
Época Seca	Sicigia	19/10/94	15.5	11.5	12.8	12.4
		20/10/94	19.3	13.2	12.9	16.0
		21/10/94	16.4	12.4	12.2	16.9
		22/10/94	16.7	13.4	12.3	16.8
		27/06/95	-	14.0	11.0	11.0
		25/10/95	-	-	14.5	-
		26/10/95	14.0	16.0	15.0	-
	Cuadratura	27/10/94	21.7	15.2	15.4	19.5
		28/10/94	18.1	15.9	13.8	18.9
		29/10/94	17.0	16.5	16.0	16.9
		30/10/94	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
	Prom. época seca		17.7	13.3	13.5	14.5
Época Húmeda	Cuadratura	09/03/95	23.8	15.9	16.6	19.4
		10/03/95	21.4	16.9	16.2	20.6
		11/03/95	21.7	15.5	15.1	13.5
	Sicigia	16/03/95	17.9	17.2	15.4	19.6
		17/03/95	13.9	15.4	16.0	15.9
		18/03/95	18.1	14.2	14.8	18.0
	Prom. Época húmeda		19.5	15.9	15.7	17.8

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

VELOCIDADES (m/s)											
CUADRATURA						SICIGIA					
ddmmaa	HORA	E1	E2	E3	E4	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	0.54	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	0.51	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	0.01	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
11/03/95	16:00	0.13	0.18	0.20	-0.04		15:00	-	-	0.04	0.19
	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	-
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 V: Corrientes Litorales en La Libertad durante la época seca

VELOCIDADES (m/s)											
CUADRATURA						SICIGIA					
dd/mm/aa	HORA	E1	E2	E3	E4	dd/mm/aa	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		0.26		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	0.49	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. (+)		0.126	0.14	0.213	0.199
	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	0.054	0.143	0.10					
Vel. Prom. (-)		0.05	0.025	-	0.06						

Tabla VI.- Corrientes Litorales teóricas

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

Tabla VII.- Parámetro de surfing en las estaciones de muestreo:

	E1	E2	E3	E4
Pendiente (tan β)	0.01	0.037	0.025	0.0167
Época seca				
Altura promedio (m)	0.31	0.32	0.29	0.36
Período (s)	17.7	13.3	13.5	14.5
ϵ	1.01×10^{-2}	4.98×10^{-3}	6.49×10^{-3}	1.05×10^{-2}
Época húmeda				
Altura promedio (m)	0.35	0.57	0.7	0.44
Período (s)	19.49	15.86	15.68	17.84
ϵ	9.4×10^{-3}	6.2×10^{-3}	1.16×10^{-2}	8.46×10^{-3}

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

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

Tabla IX. Transporte anual de sedimentos en las cuatro estaciones $m^3/año$ (V)

	Est. 1	Est. 2	Est. 3	Est. 4
Galvin	193558.75	366602.5	485196.2	284460
Komar	51859.34	81436.47	100923.4	51412.40
Cerc	37055.43	43592.53	85607.33	51128.70

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

	E1 - E2	E2 - E3	E3 - E4
Distancia entre estaciones (m)	900	800	1400
Áreas (m^2)	180013.4	160021.8	280027.2
Q (Galvin)	173043.7	118593.7	200736.2
Q (Komar)	29577.13	19487.00	49511.07
Q (Cerc)	6537.10	42014.80	34478.63
h (Galvin) m	0.96	0.74	0.72
h (Komar) m	0.16	0.12	+ 0.18
h (Cerc) m	0.04	0.26	0.12

+ Acreción entre estaciones

Tabla XI.- Sedimentación en las estaciones de muestreo en m^2 /por unidad de ancho

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

Tabla XII.- Alturas erosionadas de acuerdo a cartas batimétricas

	E1	E2	E3
Pendiente de playa (tan β)	0.01	0.037	0.025
Altura (m)	0.07	0.25	0.17

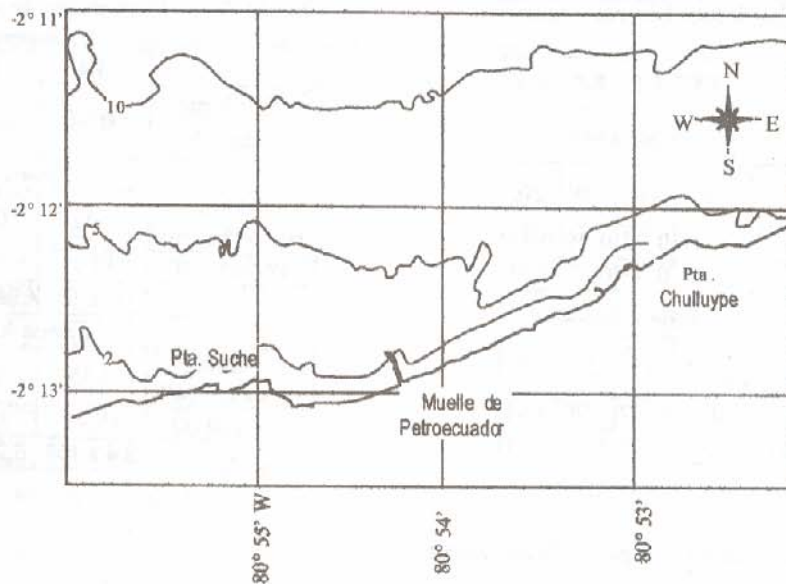


Figura 1.- Área de estudio

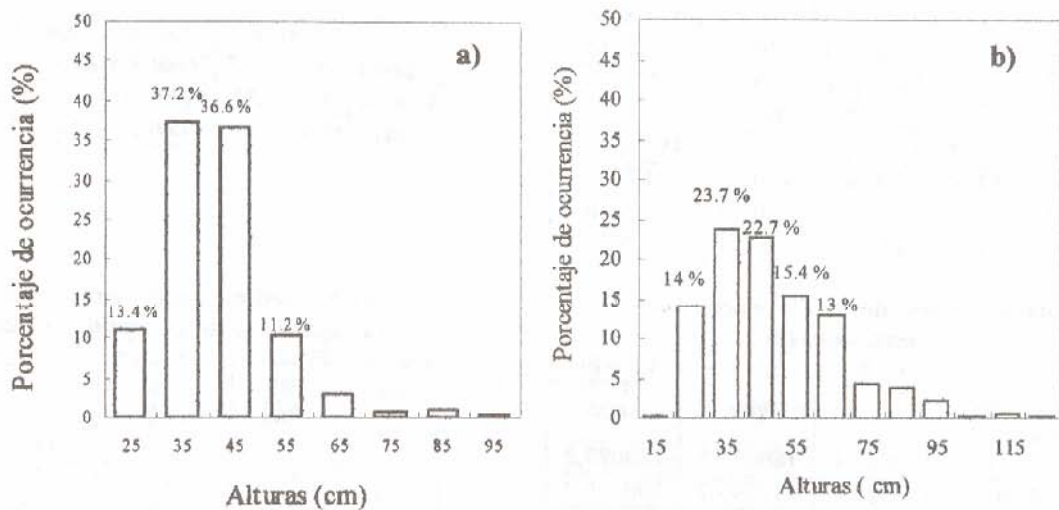


Figura 2.- Ocurrencia de altura de olas a) época seca, b) época húmeda

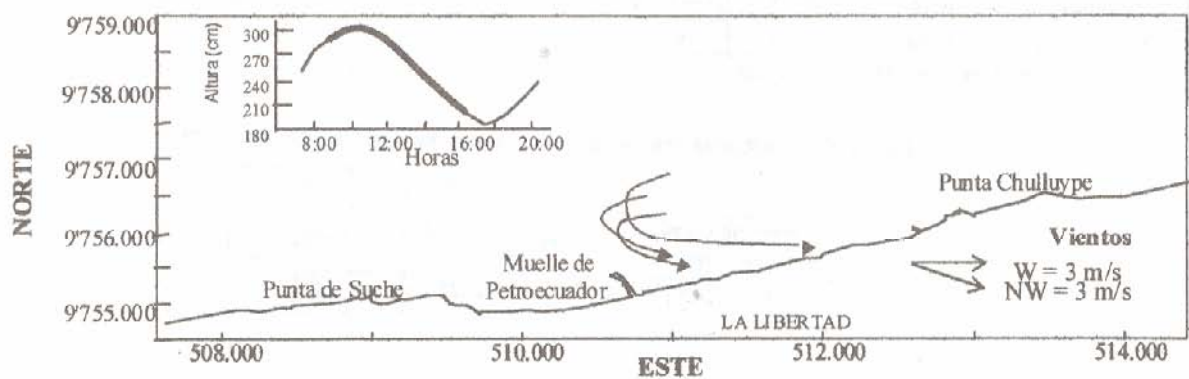


Figura 3.- Trayectorias de las veletas durante marzo de 1995

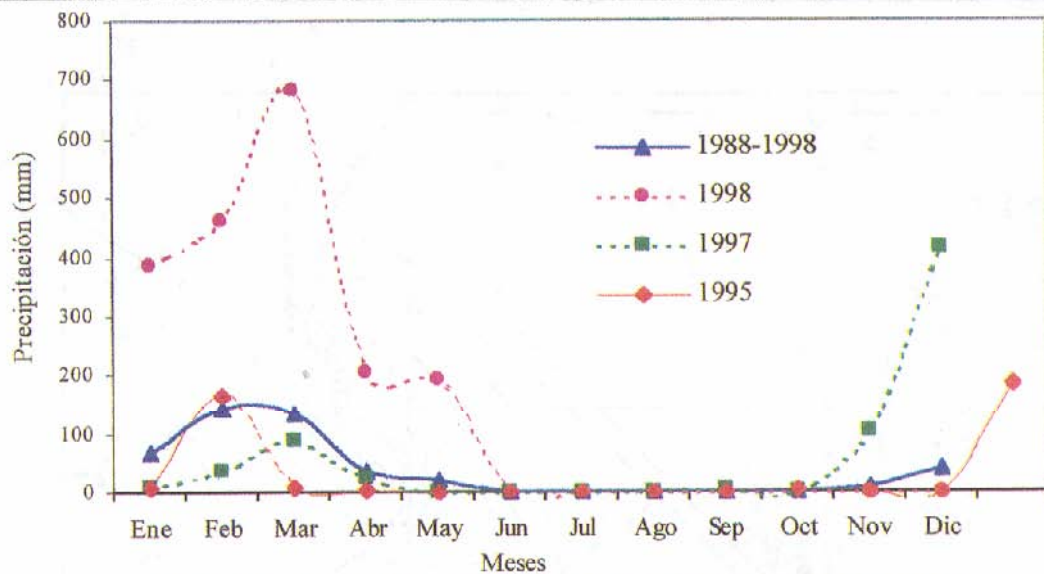


Figura 4.- Promedios mensuales de precipitación (1988-1998)

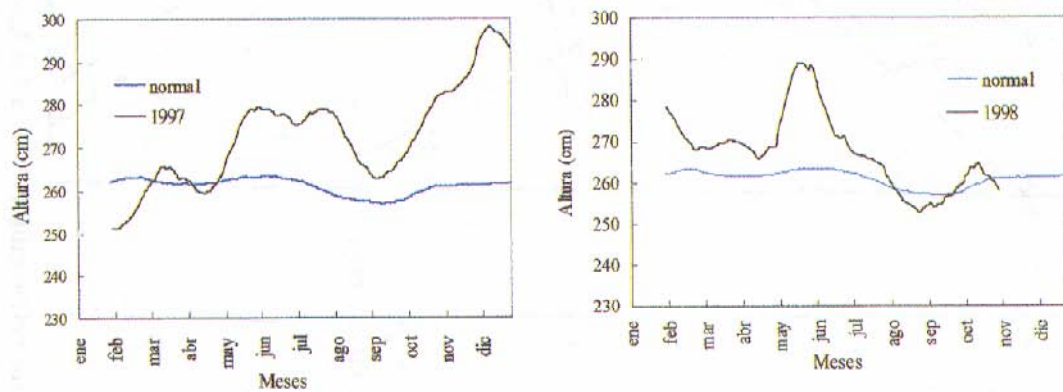


Figura 5.- Nivel del mar durante los años de 1997-1998

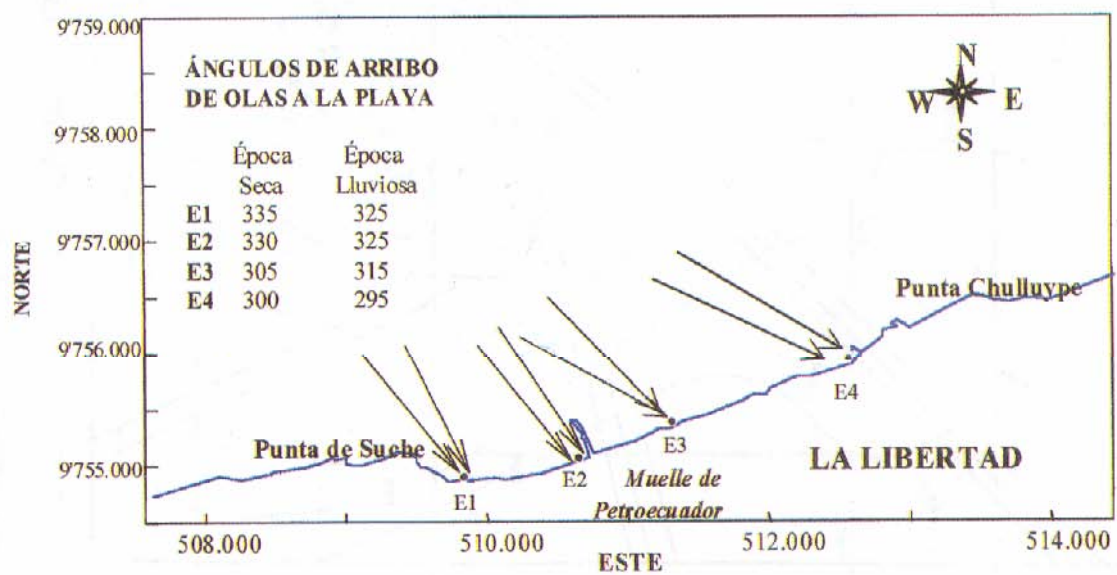


Figura 6.- Ángulo de arribo del tren de ondas a las estaciones de medición

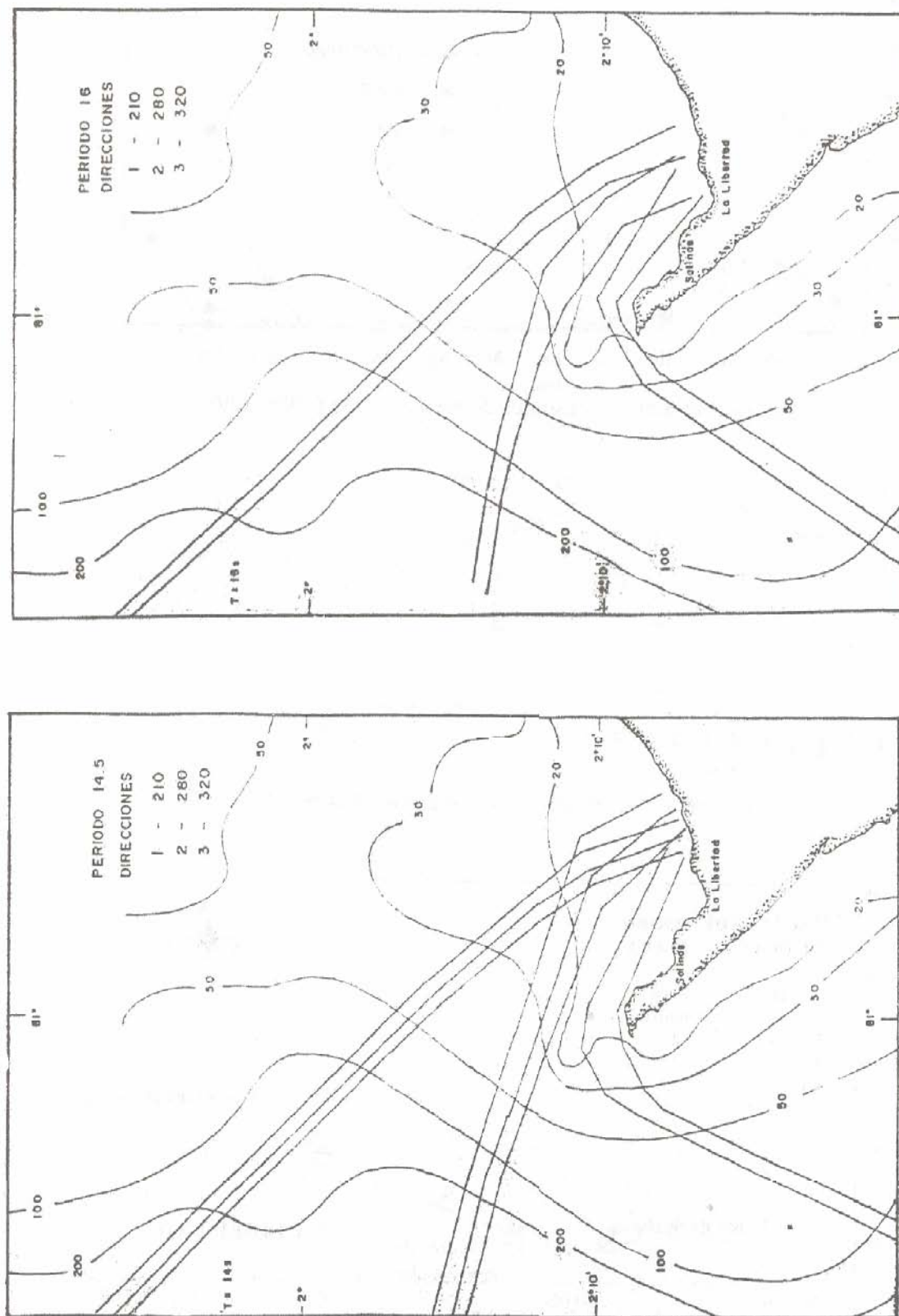


Figura 7.- Diagramas de refracción frente a La Libertad

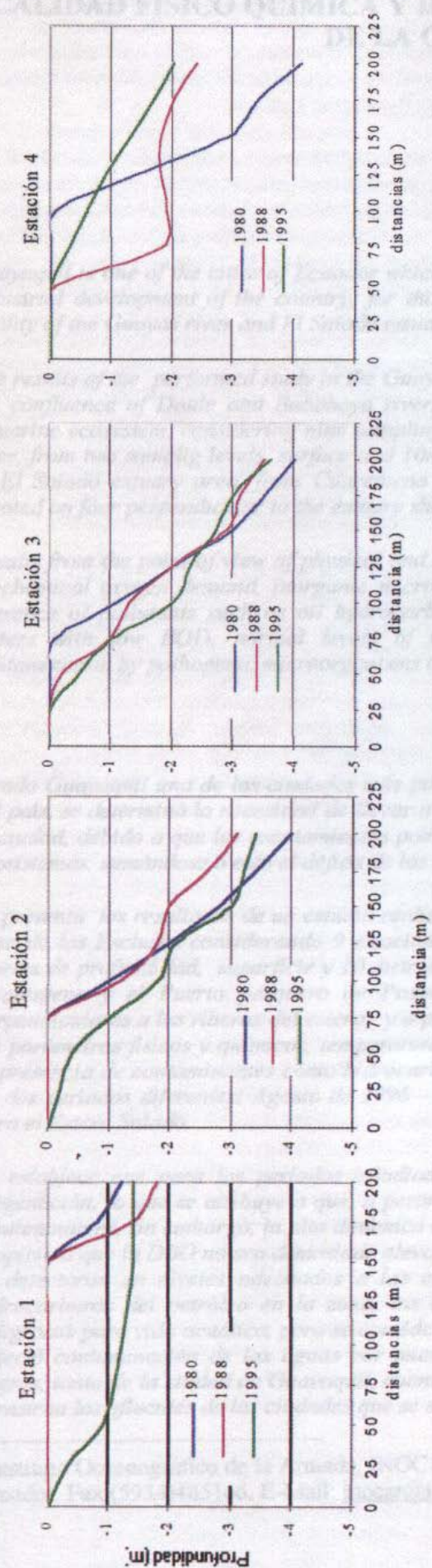


Figura 8.- Perfiles perpendiculares a la Línea de Costa

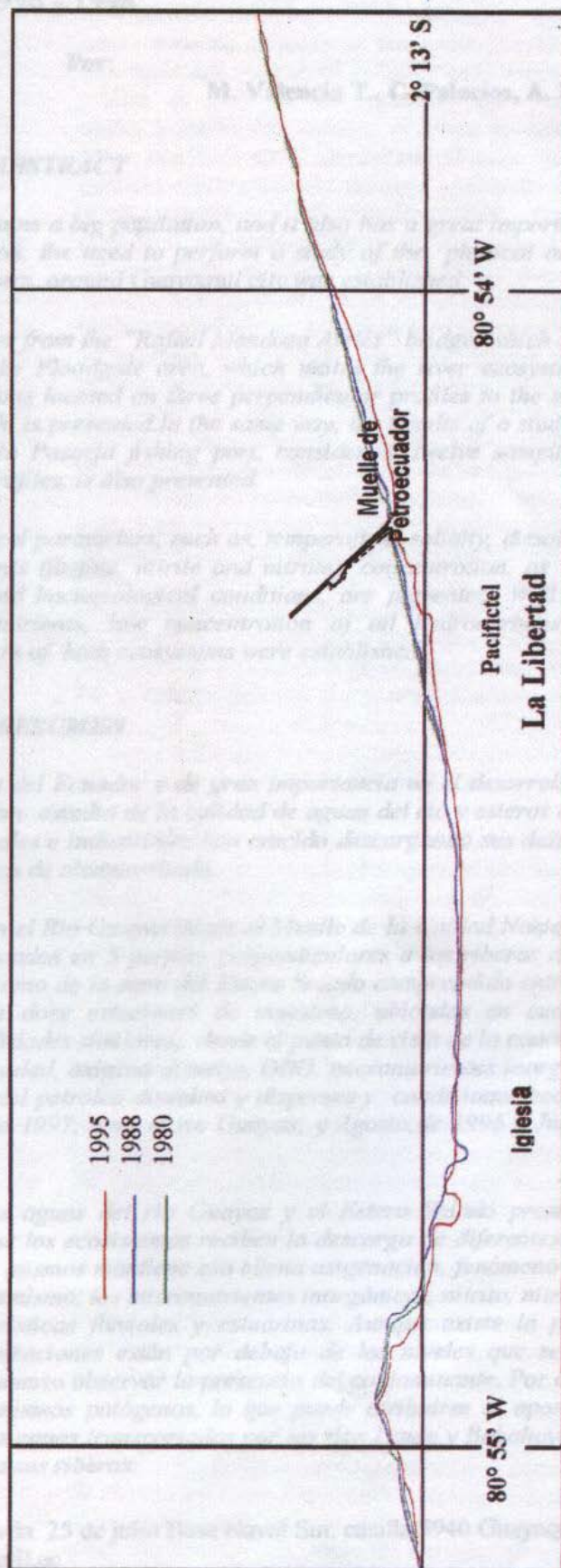


Figura 9.- Variación de la línea de Costa