

CLIMA MARÍTIMO Y DINÁMICA LITORAL DE LA BAHÍA DE TUMACO, DATOS BÁSICOS PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES MARINOS

Carlos Enrique Tejada Vélez *

División de Zonas Costeras, Centro Control Contaminación del Pacífico – CCCP
Vía El Morro, Capitanía de Puerto, San Andrés de Tumaco, Nariño, Colombia
Tél: +57 (2) 727 26 37, Fax: +57 (2) 727 11 80
e-mail: cccp@cccp.org.co
ctejada@cccp.org.co *

Recibido en mayo de 2003; aceptado en noviembre de 2003

RESUMEN

Conocer, entender y proponer son tres etapas básicas en toda gestión de la costa. En este artículo se presentan los resultados de los trabajos adelantados para *conocer* y *entender* la dinámica marina y litoral de la bahía de Tumaco, como primeras fases del estudio tendiente a proponer la utilización de la isla del Guano, desaparecida con el tsunami de 1979, como barrera de protección del casco urbano de Tumaco ante este tipo de eventos. A partir de este escrito, se podrá entender la importancia que tiene para Tumaco la estabilidad del río Mira, en especial sus aportes sedimentarios, ya que de ello depende la existencia de las islas sobre las que se encuentran asentados; también se conocerán aspectos básicos para determinar la forma en planta y el perfil de equilibrio que deberá tener la isla propuesta dada la dinámica reinante en el sector. Todo lo anterior a partir de los resultados de los modelos numéricos empleados, de las campañas de campo y de la comparación de cartas náuticas, mapas, fotografías aéreas e imágenes satelitales de diversa índole.

Palabras Claves: Oleaje, Clima Marítimo, Bahía de Tumaco, Modelado Costero, Dinámica Litoral, Transporte de Sedimentos.

ABSTRACT

To know, understand and propose are the three basic steps in any coastal management, this article presents the results of the work done to know and understand the marine and littoral dynamics of the Tumaco bay, as the first steps towards the implementation of the proposal for using the El Guano island as a protection barrier against Tsunami waves, of the population of Tumaco, That island disappeared on the 1979 tsunami event and is being proposed to rebuilt it. From this article, it can be understood the importance of the El Mira river for the Tumaco people, because their islands are formed from the sediments of this river, it also be known basic marine dynamics data useful to determine the shape and cross section of the future island, all of the above from numerical models, and surveys data, and from nautical charts, maps, aerial photographs and satellite image comparison.

Key Words: Waves, Maritime Climate, Tumaco Bay, Coastal Modelling, Littoral Dynamics, Sediment Transport.

INTRODUCCIÓN

Cuando se quiere realizar una actuación sobre la costa es necesario acometer tres grandes pasos, a saber: *conocer*, *entender* y, finalmente, *proponer*.

Inicialmente se debe *conocer* el ecosistema a intervenir en la mayor cantidad de aspectos posibles, entre ellos es necesario medir y determinar diferentes variables relacionadas con la dinámica marina, tales como: vientos, corrientes, mareas y oleaje; así como otras relacionadas con la dinámica litoral, entre las que se pueden mencionar la granulometría, el balance sedimentario, la identificación de fuentes y sumideros, y el transporte de sedimentos. Con todo ese conocimiento es necesario luego *entender* cómo interactúan unas variables con otras y, en general, cómo funciona el sistema, de qué depende, a qué es más sensible. Finalizado el paso anterior y sólo después de ello podrá pasarse a *proponer* obras o actuaciones costeras. Este es el procedimiento que se pretende seguir para la bahía de Tumaco, ecosistema altamente complejo y variado, afectado por varios tipos de riesgos ambientales marinos, entre los que se encuentran los tsunamis, los cuales han impactado la bahía en cuatro oportunidades en el último siglo (1906, 1942, 1958 y 1979); vestigios de dos de ellos señalan, al parecer, que la isla del Guano redujo su impacto, desapareciendo como consecuencia de ese fenómeno.

En el CCCP se plantea la posibilidad de regenerar dicha isla, con el fin de que cumpla nuevamente su papel protector, situación que se considera de alta importancia, dado que la población de Tumaco ha crecido exponencialmente desde el último evento tsunamigénico y no han funcionado los intentos de reubicación de la población.

Es este pues el marco dentro del cual se desarrolla el presente estudio, el cual sólo abarca lo relativo a la dinámica marina y litoral.

ÁREA DE ESTUDIO

La bahía de Tumaco se encuentra ubicada en el extremo sur de la costa Pacífica colombiana y constituye la mayor entrante sobre ese litoral, ubicada entre las latitudes 1° 45' y 2° 00' N y las longitudes 78° 30' y 78° 45' W, con un área aproximada de 350 km² y con profundidades que varían entre 0 y 50 m; recibe el aporte de ocho ríos, entre los que se destaca el río Rosario y está bordeada por dos más de mucho

mayor caudal: el Mira, al Sur, y el Patía, la Norte (Adaptado de Peña, 1995, y Cabrera y Montagut, 1997). Este hecho hace intrincada la hidrografía de la bahía e importantes los aportes sedimentarios que recibe (Fig. 1).

Dentro de la bahía se encuentran 19 asentamientos humanos repartidos en dos municipios, siendo el de mayor extensión e importancia el de San Andrés de Tumaco, cuya cabecera municipal cuenta con más de 80000 habitantes, ubicado sobre el extremo suroeste de la bahía, ocupando las islas de El Morro, La Viciosa y Tumaco.

Las partes sur y central de la bahía tiene una topografía baja, cubierta principalmente de manglar, mientras al Norte presenta colinas que llegan al mar formando acantilados.

METODOLOGÍA

Para la determinación del clima marítimo se utilizó inicialmente el módulo informático OLAS, adaptado para Colombia por el CCCP, a partir del módulo ODIN del Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria, Gioc, con el cual se puede determinar el régimen medio direccional y escalar del oleaje en aguas indefinidas al frente de la bahía de Tumaco y el oleaje propagado hasta puntos objetivo a lo largo de la bahía; siempre y cuando sobre ellos no existan importantes procesos de difracción, ya que estos no son considerados por el programa (Tejada, 2002).

Los datos anteriores sirvieron de información de entrada para los modelos numéricos COPLA y MOPLA, desarrollados por el Gioc, con los cuales se puede conocer en mayor detalle las transformaciones que sufre el oleaje en su aproximación a la costa y calcular su altura y dirección en todos los puntos de la malla de cálculo, así como las corrientes derivadas por ese oleaje.

MOPLA simula la propagación del oleaje, calculando los cambios que éste sufre debido a refracción, difracción, reflexión, asomeramiento y disipación de energía por fricción con el fondo; para ello resuelve la forma parabólica de la ecuación de la pendiente suave (Mild Slope) e incorpora modelos de propagación no lineales, de simulación de capa límite turbulenta o laminar y la rugosidad de fondo.

Se ejecutaron varios escenarios de cálculo basados en los regímenes direccionales entregados por OLAS,

tomando para cada caso una dirección predominante del oleaje y una altura y período característico. Es de anotar que teniendo en cuenta que la zona de interés para este estudio se centraba en el casco urbano de Tumaco, se densificaron las modelaciones en esta área acomodando las grillas para mostrar con mayor detalle y precisión el comportamiento del oleaje en estos sectores (Fig. 4a).

En adición a la determinación de las características del oleaje se evaluaron datos de mareas, provenientes del mareógrafo instalado por el IDEAM en el terminal portuario de Tumaco, del cual sólo se presentan en este artículo algunos cálculos relativos a constantes no armónicas de marea que permiten caracterizar su comportamiento y definir valores clave que se utilizarán en la modelación de posibles escenarios de inundación por tsunamis, o en evaluaciones de corto y largo plazo de la línea de costa actual ante un régimen de oleaje y nivel de marea dado.

Para esto se seleccionó, de una serie de tiempo de 49 años, el período de 369 días más completo (con menos vacíos de información), con la finalidad de definir el mayor número de constantes armónicas. Se encontraron cumpliendo esta condición datos de 1981, 1982 y 1985, con base en los cuales se determinaron constantes no armónicas como el rango máximo, rango medio, máximos y mínimos; y otros niveles como el promedio de las pleamares y bajamares tanto en sicigia como medios.

Para la determinación de la dinámica litoral se realizaron varias actividades, entre ellas: una campaña para conocer las características del sedimento a través de granulometría, tomando datos de las estaciones presentadas en la Figura 2; también se efectuaron comparaciones de varios documentos como cartas náuticas, mapas, imágenes de satélite y fotografías aéreas, tomadas entre 1958 y el 2002, a saber:

- Vuelo IGAC C 836, escala 1:30000 de 1958.
- Vuelo IGAC 1243, escala 1:25000 de 1969.
- Plancha IGAC, escala 1:25.000 restituida con fotos de 1969.
- Vuelos IGAC C2191 y C 2193, escala 1:20.500 de 1985.
- Imagen LANDSAT de febrero de 1986 (máxima resolución espacial de 25 m).
- Imagen SPOT de abril de 1994 (máxima resolución espacial de 10 m).
- Carta náutica COL 310 con datos de 1996 y escala 1:100000.

- Mosaico de Tumaco en escala 1:10000 de 1998.
- Carta náutica COL 102 con datos de 1999.
- Imagen IKONOS de febrero del 2002 (máxima resolución espacial 1 m).

Se compararon entre sí en forma total o parcial, dependiendo de su cubrimiento, las líneas de costa extraídas de las mencionadas fuentes que cubren irregularmente un período de 44 años. Dicha comparación presenta limitaciones dada la diferencia en escalas y de resolución espacial; sin embargo, como se mostrará, se permite apreciar las diferencias ocurridas en el tiempo y entender cómo se ha desarrollado este proceso.

Finalmente, se aplicaron dos formulaciones para el cálculo del transporte potencial de sedimentos, la utilizada por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, conocida como la del CERC, y la de Kamphuis, desarrollada en 1991 y mejorada por Shoones y Theron en 1996. La primera es la más aplicada en el mundo (Shoones y Theron 1994).y la segunda es conocida como la más precisa (Shoones y Theron 1996).

La primera calcula el transporte grueso y total, sin discriminar cuál es por fondo o suspensión, siendo útil para estimar valores generales más no para tasas locales de transporte de sedimentos. Esta formulación tiene en cuenta la energía del oleaje incidente, pero no el tipo de sedimento, ni la pendiente de la playa sobre la que actúa el oleaje; lo que si hace la ecuación de Kamphuis, para la cual es necesario conocer la porosidad, densidad y D_{50} del sedimento.

La ecuación del CERC es:

$$\begin{aligned}
 S &= K_1 P_{ls} \\
 \text{donde:} \\
 K_1 &= 1355 \\
 P_{ls} &= E_b n_b \sin \theta_b \cos \theta_b \\
 \text{con:} \\
 E &= \frac{1}{8} \rho g H_{bs}^2 \tag{1} \\
 n_b &= \frac{1}{2} \left[1 + \frac{\left(\frac{4\pi h_b}{L_b} \right)}{\left(\sinh \frac{4\pi h_b}{L_b} \right)} \right] \\
 C_b &= \frac{L_b}{T_b}
 \end{aligned}$$

la ecuación de Kamphuis dice:

$$S = 64433 X_{kamphuis} \left(\frac{m^3}{yr} \right) \tag{1}$$

$$X_{kamphuis} = \frac{1}{(1-p)\rho_s} * \left(\frac{\rho}{T_p} \right) L_o^{1.25} H_{bs}^2 (\tan \alpha_k)^{0.75} \left(\frac{1}{D_{50}} \right)^{0.25} (\sin 2\theta_b)^{0.6}$$

donde,

- P porosidad
- ρ_s Densidad del sedimento
- ρ Densidad del agua de mar
- L_o Longitud de onda en aguas profundas
- $\tan \alpha_k$ pendiente de la playa en la línea de rotura
- θ_b Ángulo de incidencia del oleaje en rotura
- H_{bs} Altura del oleaje significativo en el punto de rotura medido en m.
- H_{bs} Altura del oleaje significativo en el punto de rotura medido en m.
- T_p Período de pico del oleaje

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos serán presentados en el mismo orden en que se relacionó en la metodología, es decir, se iniciará por la dinámica marina, para concluir con la dinámica litoral.

Dinámica marina

Oleaje

Al aplicar sobre la parte central de la bahía de Tumaco el programa OLAS, que contiene toda la base de datos de oleaje visual colectada entre 1963 y 1997 de las aguas jurisdiccionales colombianas, asumiendo una función de transferencia de $H_v = H_s$ (H_v corresponde a la altura del oleaje visual y H_s es la Altura significativa del oleaje). Esta relación es recomendada por Copeiro (2000) en situaciones como la de Colombia que no cuenta con sistemas de medición del oleaje con los cuales determinar una función de transferencia diferente: una celda de búsqueda de 300 Km, una pendiente media de 0.05 y un tamaño del sedimento (D_{50}) de 0.20 mm, se obtienen los siguientes resultados:

Datos de largo plazo (Fig. 3):

- $T_s = 15.2$ s (Período significativo del oleaje)
- Dirección flujo medio en profundidades indefinidas = Azimut 078.8° (N79E)
- Dirección de flujo medio en profundidad objetivo = Azimut 053.0° (N53E)

Perfil de equilibrio:

- $H_{s12} = 3.2$ m (altura significativa solamente superada en 12 horas al año)
- $h^* = 5.4$ m (profundidad hasta la cual se da un transporte de sedimentos por el oleaje)

Parámetro adimensional de caída de grano (omega) medio mensual:

- Máximo anual = 9.44 (enero)
- Mínimo anual = 6.38 (abril)
- Medio anual = 7.71

Datos de corto plazo:

Porcentaje de olas por sectores.

SECTOR	PROF. INDEFINIDAS	PROF. INDEFINIDAS
Calmas/fuera de rango	5.1%	26.8%
N	3.5%	3.5%
NNE (N23E)	1.9%	1.1%
NE (N45E)	4.0%	0.0%
ENE (N68E)	2.3%	0.0%
E	1.9%	0.0%
ESE (S68E)	0.4%	0.0%
SE (S45E)	0.8%	0.0%
SSE (S23E)	1.2%	0.0%
S	6.2%	0.0%
SSW (S23W)	11.0%	0.0%
SW (S45W)	27.7%	8.1%
WSW (S68W)	19.3%	36.0%
W	8.5%	14.4%
WNW (N68W)	1.8%	4.3%
NW (N45W)	1.6%	2.3%
NNW (N23W)	2.7%	4.3%

Direcciones del oleaje cuya probabilidad excede el 15% (descartando calmas y oleajes fuera del rango).

Dirección	$H_{s.50}$	$T_{.50}$	$H_{s.01}$	$T_{.01}$
WSW (S68W)	0.7	6	2.2	11
W	0.9	10	2.8	17

$H_{s.50}$ Altura de ola significativa superada por el 50% de los estados de mar del año.

$H_{s.01}$ Altura de ola significativa superada por el 1% de los estados de mar del año.

Lo anterior evidencia que el oleaje en aguas indefinidas al frente de la bahía de Tumaco proviene de dirección SW con un 27.7% de probabilidad, seguido del proveniente de WSW con un 19.3%; estos al parecer sufren procesos de refracción al sentir el fondo y cambian de dirección, predominando en inmediaciones de la bahía la dirección WSW con un 36% y pasando los oleajes del W de un 8.5%, en aguas indefinidas, a un 14.4% en aguas someras. Asimismo, se aprecia que la altura del oleaje medio es menor del metro de altura, con una altura significativa del 1% de excedencia de 2.8 m y un período de 17 seg, valores que tienden a disminuir a medida que el oleaje prosigue hacia la costa y por efecto de las bajas profundidades pierde aún más energía.

Con los datos anteriores se procede a definir escenarios de simulación con el modelo MOPLA, donde se define la orientación de las grillas y la dirección del oleaje incidente a modelar (Fig. 4-5).

En las simulaciones hechas se aprecian los cambios de dirección que sufre el oleaje al sentir el fondo, lo que en el tramo entre la desembocadura del río Mira y la isla de Bocagrande corresponde a un ligero cambio de dirección hacia el Oeste de los oleajes incidentes; allí, por efectos de una batimetría muy regular, no se aprecian más cambios significativos.

Caso contrario sucede en los alrededores de las islas de Tumaco, donde la compleja batimetría produce cambios considerables en la dirección del oleaje, creando zonas de concentración de energía en los extremos de la isla de Vaquería, en la parte central; en los dos extremos de la isla La Viciosa, en la zona donde termina la playa turística de la isla de El Morro, sugiriendo esos puntos zonas de mayor transporte de sedimentos. Asimismo, se alcanzan a apreciar las mayores alturas del oleaje sobre el canal de navegación que corre diagonalmente por el extremo este de la isla de El Morro hacia mar afuera. Vale la pena resaltar que por limitaciones de espacio sólo se presentan salidas de los modelos en marea alta, aunque también se realizaron modelaciones en marea baja.

Finalmente, en la salida de las corrientes de oleaje que muestra uno de los escenarios modelados en marea alta se aprecia la intensidad de las corrientes generadas y el alto transporte de sedimentos asociado, lo que explica las variaciones de la línea de costa del sector, así como la formación de nuevos bajos, que rápidamente son poblados por manglares y dan lugar a la formación de nuevas islas, transformando el delicado equilibrio dinámico de la zona.

Caso contrario sucede con la isla de Tumaco, sobre la cual el oleaje es mínimo al igual que el transporte de sedimentos, de allí sus pocas variaciones en la línea de costa.

Mareas

Los resultados obtenidos en relación con la marea se consignan en la Tabla 1, en la cual se observa que el rango promedio de marea en Tumaco es de 2.45 m y no de más de 3 m o incluso 4 m, como indican otros estudios (Wiest 1995, Peña, 1995, Montagut 1998), el rango máximo de marea si corresponde a 4.14 m.

Dinámica Litoral

El balance de sedimentos es establecido por las pérdidas y ganancias en cada uno de los compartimientos de estudio de una zona costera, lo cual se refleja en fenómenos de erosión y sedimentación (Tovar, 2002). Para determinar esos fenómenos se efectuaron comparaciones entre diversas fuentes de líneas de costa mencionadas en la metodología, que por efectos de espacio no se presentan todas las comparaciones hechas, sólo las más representativas, como la efectuada entre 1969 y 1995 (Fig. 6), donde se aprecian importantes cambios sufridos por este sector de la costa.

En este período se aprecia cómo el transporte es en dirección SE a NW, confirmando la dirección del flujo medio de energía presentado en el análisis del oleaje. Allí se observa que el transporte de sedimentos se sucede en 'saltos', también se destaca en esta comparación la desaparición de la isla del Guano (color verde). El signo de interrogación plantea el desconocimiento del sitio a donde se desplazó y el material que conformaba la isla.

La siguiente comparación correspondiente a un período más corto y reciente (entre 1992 y 1995) (Fig. 7), muestra cómo a pesar del corto lapso es importante el transporte de sedimentos en la zona y el marcado predominio de procesos deposicionales, dándole a las islas una forma más acorde a la dirección del oleaje incidente. También se hace evidente, por las comparaciones y las mediciones de sedimentos hechas, que la principal fuente de sedimentos es el río Mira, siendo crítico para las islas cualquier cambio en las características del río, porque consecuentemente alteraría la estabilidad de la línea de costa actual.

Cálculo del transporte potencial de sedimentos

Los cálculos efectuados no arrojaron un valor único o similar, cada método de estimación brindó un re-

sultado diferente; así, por ejemplo, la comparación entre las líneas de costa de diferentes años arrojó resultados muy dispersos dependiendo de los años que se compararan. Del promedio de los diversos resultados se obtuvo un valor cercano a los 93884 m³/año, el cual sólo se presenta como orden de magnitud, no como valor exacto.

Asimismo, al emplear las formulaciones del Shore Protection Manual o la de Kamphuis, se obtuvieron diferentes resultados que variaron alrededor de 60000 m³/año para SPM y 7500 m³/año para Kamphuis. Lo anterior no permite dar un valor medio de transporte potencial, sólo indica el rango de variación obtenido y evidencia la necesidad de ajustar los cálculos por medio de mediciones *in situ* de transporte de sedimentos, trabajo que se aspira a desarrollar en el corto plazo.

CONCLUSIONES

- El oleaje incidente en la bahía de Tumaco proviene, principalmente, de las direcciones SSW, SW y W, variando su $H_{s,50}$ entre 0.7 y 0.9 m y su $H_{s,01}$ entre 2.2 y 2.8 m.
- Al ingresar el oleaje a la bahía, por efectos del fondo, éste sufre una pérdida en altura y se refracta predominando la dirección WSW y W, y aumentando significativamente los períodos de calma o muy bajo oleaje.
- El rango medio de la marea en Tumaco es de 2.45 m y su rango máximo es de 4.14 m.
- El transporte de sedimentos proveniente de la desembocadura del río Mira sigue afectando las islas de Tumaco, modificando su forma y éstas, a su vez, el patrón de corrientes en sus alrededores; siendo éste un sistema muy activo que continuará transformando las islas hasta llegar a su punto de equilibrio dinámico, al cual se considera aún no se ha llegado.
- La gran variabilidad de la dinámica marina y litoral explica la diferencia de los resultados de las estimaciones del transporte de sedimentos para el área, haciendo necesario complementarlos con mediciones de campo que permitan ajustar mejor dichos valores a la realidad.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Cabrera y Montagut. 1997.** Situación de Riesgo en la Ensenada de Tumaco. Boletín Científico CCCP. San Andrés de Tumaco : CCCP. No. 6, pp 7 – 27.
- Copeiro, E. 2000.** Metodología para Estimar Regímenes de Oleaje y Temporales, ROM 0.2.90 y ROM 0.3.91 Regímenes de Oleaje y Temporales, pp 21 – 2109.
- Kamphuis, J. 1991.** Alongshore Sediment Transport Rate. Journal of waterways, Ports, Coastal and Ocean Engineering. Vol. 117, No. 6, pp 624 – 640.
- Montagut, E. 1998.** Principales Cambios en la Línea de Costa del Municipio de San Andrés de Tumaco. Boletín Científico CCCP. San Andrés de Tumaco : CCCP. No. 7, pp 67 – 77.
- Peña, J. 1995.** Un Modelo de Caja Aplicado al Transporte de Partículas y Tiempo de Residencia de las Aguas del Sector del Pindo. Ensenada de Tumaco. Boletín Científico CCCP. San Andrés de Tumaco : CCCP. No. 5, pp 5 – 35.
- Shoones y Theron. 1994.** Precisión y Aplicabilidad de la Fórmula para el Cálculo de Transporte Longitudinal de Sedimentos del Shore Protection Manual. Coastal Engineering 1994, pp 2595 – 2607.
- Shoones y Theron. 1996.** Mejoras a la Fórmula de Transporte Longitudinal de Sedimentos más Precisa. Research Engineers, CSIR, pp 3652 – 3665.
- Tejada, C. 2002.** Clima Marítimo de la Bahía de Tumaco, un Caso de Aplicación del Sistema de Modelado Integral de Zonas Costeras para Colombia. Cantabria, 44 pp. Tesis de maestría (MSc en Ciencias Tecnológicas para la Gestión de la Costa). Universidad de Cantabria. Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas.
- Tovar, A. 2002.** Variación de la Línea de Costa entre los Años de 1958 y 2000 en la Ensenada de Tumaco, Departamento de Nariño. Medellín, 132 pp. Trabajo de grado (Ingeniero Geólogo). Universidad EAFIT. Facultad de Ingenierías. Departamento de Geología.
- Wiest, H. 1995.** Estudio de Corrientes y Mareas en la Ensenada de Tumaco. Informe Técnico. Centro Control Contaminación del Pacífico. San Andrés de Tumaco : CCCP, 52 pp.

FIGURAS Y TABLAS

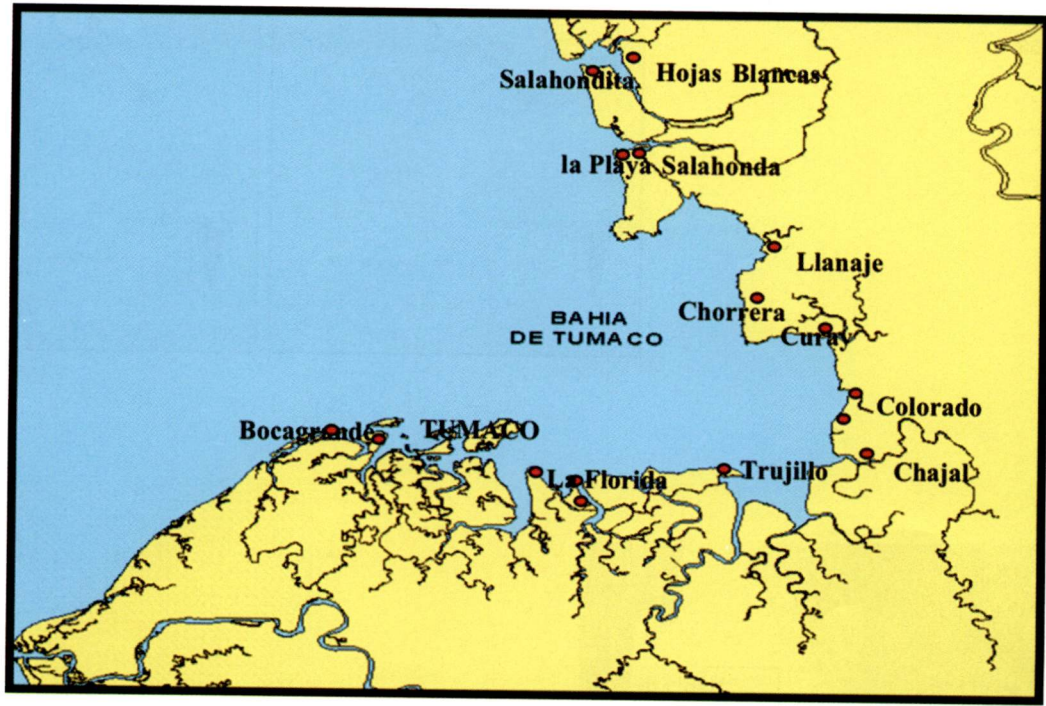


Figura 1. Área de estudio considerada, incluyendo la desembocadura del río Mira y la bahía de Tumaco.

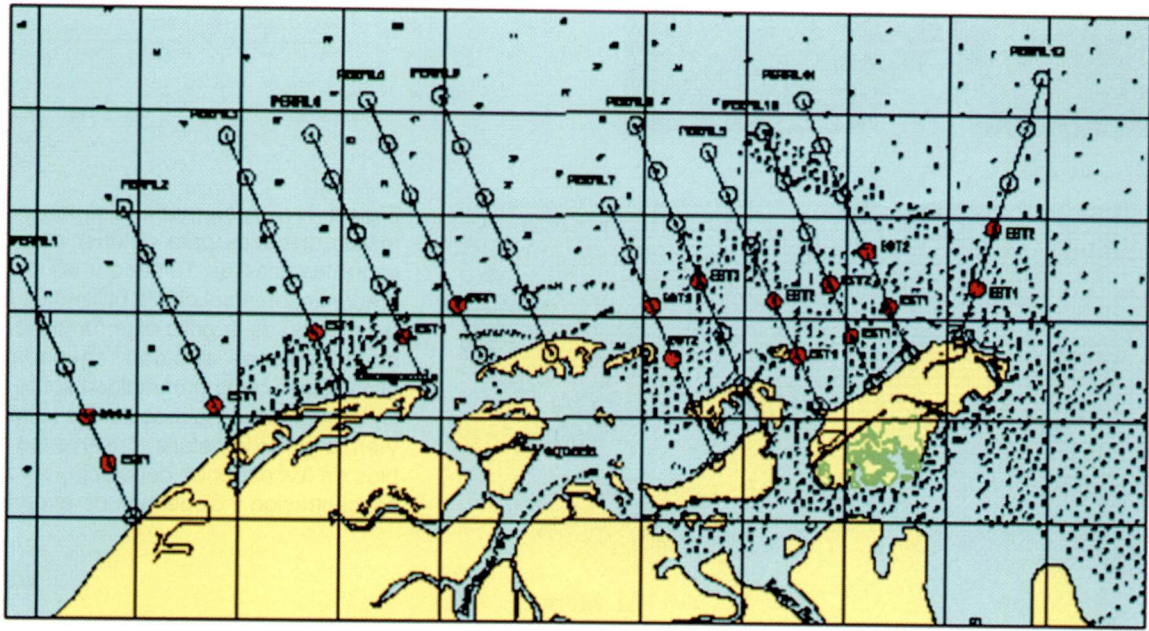


Figura 2. Ubicación de las estaciones sedimentológicas en la bahía de Tumaco. Los puntos rojos indican zonas con alta concentración de sedimentos en suspensión.

Figura 3. Régimen direccional en aguas indefinidas frente a Tumaco (izquierda) y en inmediaciones de la bahía (derecha), obsérvese la refracción que sufre el oleaje y de allí el cambio en la dirección de los principales oleajes que llegan del SSW y en la bahía predominan del SW, asimismo se observa el aumento en el porcentaje de las calmas.

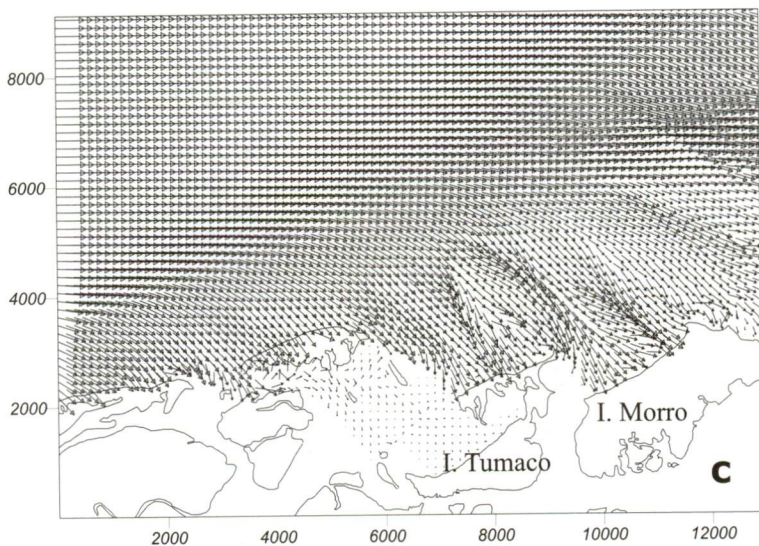
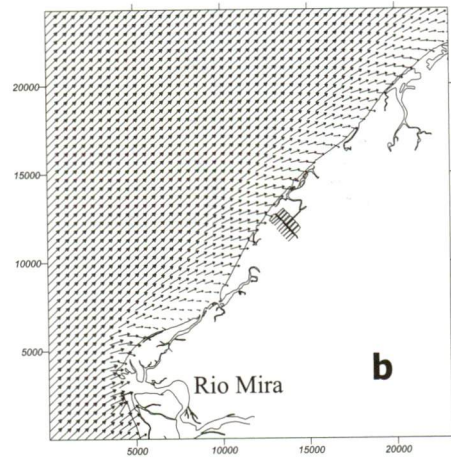
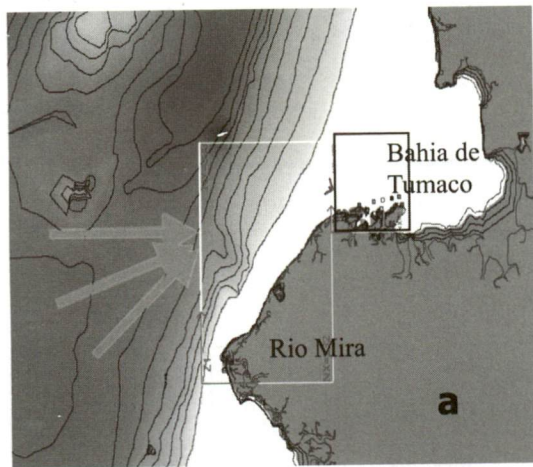
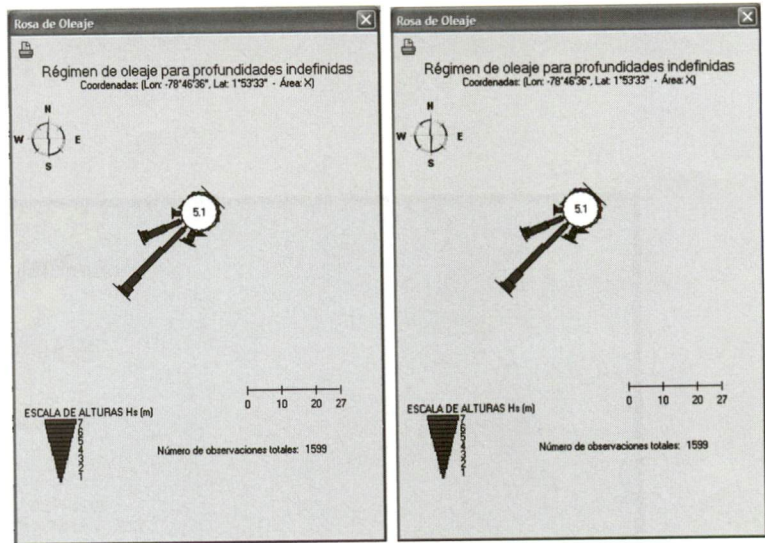


Figura 4. a) Área modelada, obsérvese las mallas anidadas para obtener mayor detalle sobre las islas de Tumaco y las direcciones predominantes del oleaje utilizadas. B) Salida del modelo de la grilla externa, obsérvese las modificaciones al oleaje causadas por la disminución de la profundidad sobre la costa. C) Resultados de la modelación en marea alta y en la grilla de detalle, obsérvese los cambios en los patrones del oleaje, las zonas de concentración y dispersión de energía.

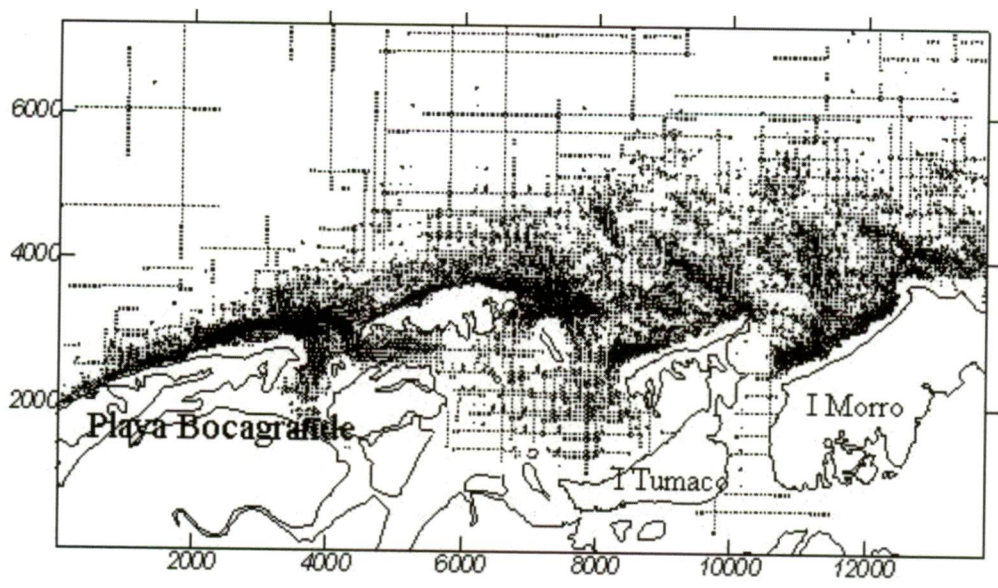


Figura 5. Resultados de la modelación que indican el patrón de corrientes producidas por oleaje. Se aprecian zonas de disminución de la corriente en sitios propicios para la depositación de sedimentos.

Tabla 1. Constantes no armónicas de marea para Tumaco.

	1981	1982	1985	Media
Max	5.87	5.95	5.87	5.95
Min	1.80	1.86	1.61	1.61
MSL	3.78	3.90	3.69	3.79
Rango	4.07	4.09	4.26	4.14
Rango	2.49	2.48	2.39	2.45
MTL	3.79	3.90	3.70	3.80
MHW	5.03	5.14	4.90	5.02
ML	2.55	2.66	2.50	2.57
MHHW	5.44	5.50	5.31	5.42
MLL	2.09	2.18	2.04	2.10

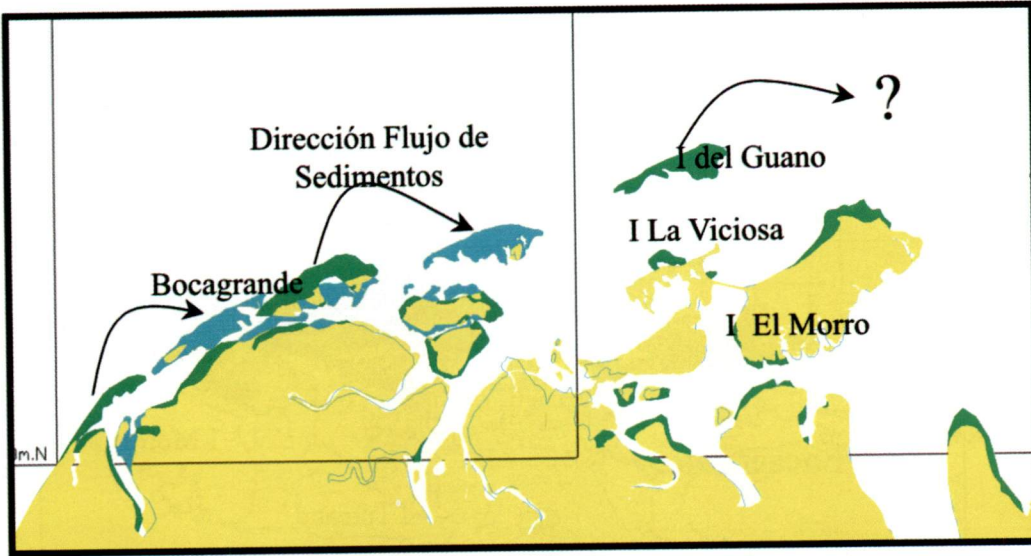


Figura 6. Comparación entre las líneas de costa de 1969 y 1995, realizada inicialmente en escala 1:250000. Se aprecian (en color azul) las zonas acresionadas y (en color verde) las zonas erosionadas incluida la isla del Guano, frente a la isla de El Morro.

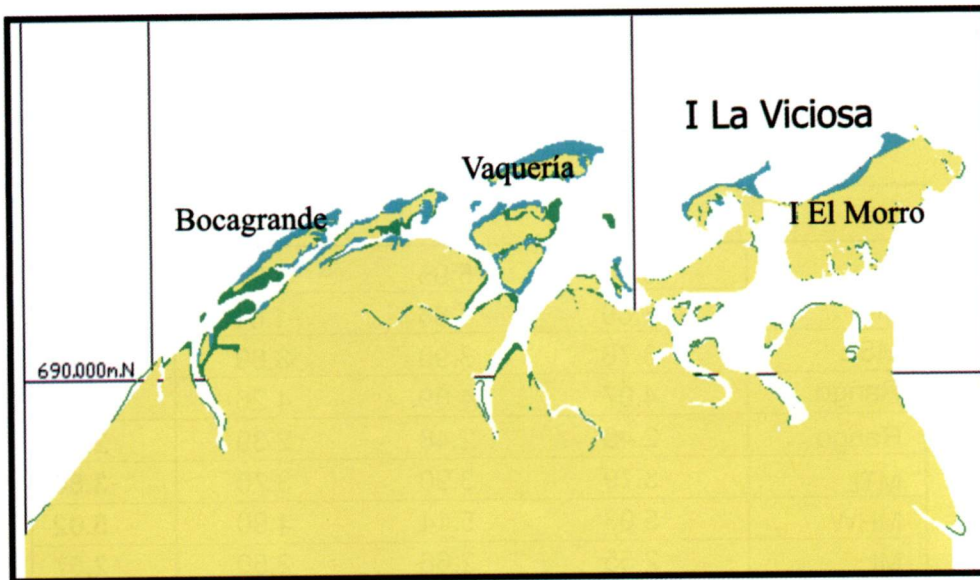


Figura 7. Comparación de las líneas de costa de 1992 y 1995. Se aprecia el predominio de procesos sedimentarios (color azul) y la reorientación de la costa hacia formas más paralelas al oleaje incidente como en el caso de la isla La Viciosa.