

Morfología y Dinámica costera de la Ensenada de Bacunayagua. Cuba

Dr. Elías Ramírez Cruz*

Lic. Carlos García Hernández**

INTRODUCCION

La ensenada de Bacunayagua situada en la costa septentrional de Cuba, entre las provincias de Matanzas y la Habana, (Fig. 1) ocupa una extensión de costa de unos 1500m con dos pequeños tramos de playas alimentadas por el aporte del río del mismo nombre, flanqueadas ambas, por un litoral rocoso que forma escarpes de hasta 6 m de altura.

Mediante mediciones del perfil topográfico se muestra la evolución morfodinámica de las playas y la particularidad de la pendiente submarina. En la playa situada en la parte occidental, se observa un mayor déficit de sedimentos que del extremo opuesto, aparentemente asociada a la pendiente submarina más pronunciada y a la cercanía del canal que favorece el escape del mismo.

No obstante lo expresado anteriormente, la pendiente submarina de la playa no favorece la estabilidad del perfil en la zona, la cual está condicionada, por la orientación de la línea de costa y por la refracción del oleaje que influye marcadamente en la sedimentación del área.

El volumen de arena arrastrado por la deriva del río, garantiza el mantenimiento de las playas a pesar de que al igual que en otras zonas de la costa norte de Cuba la acción erosiva del oleaje es un fenómeno real y está estrechamente relacionado con los cambios climáticos Globales.

En la ensenada de Bacunayagua la dinámica de la zona costera está gobernada por la combinación de la influencia del río con el oleaje predominante del NE y las particularidades morfológicas de las playas encajadas dentro de la ensenada.

En la geomorfología de la plataforma exterior de la Ensenada, se destacan el paleocause del río, la caída brusca del talud insular con entrantes y salidas y una superficie de terraza de ancho variable, entre los 80 y 200 m, regularmente a una profundidad que oscila entre los 35 y 40 m.

*Instituto de Geografía Tropical (CITMA)

** Instituto de Oceanología (CITMA)

MATERIALES Y METODOS

Como parte del presente estudio se realizó el levantamiento batimétrico 1: 2 000 del interior de la ensenada y 1: 10 000 de la plataforma submarina próxima.

Para el levantamiento del interior de la ensenada se empleó el método de intersección directa con teodolitos. Los puntos de apoyo en tierra fueron:

Punto	X	Y
A	431025.522	368500.128
B	430805.424	368294.731
C	430761.774	368125.876
D	430500.644	368181.129
E	430460.978	368288.796
F	430519.672	368440.410

Durante el trabajo de campo se utilizaron dos teodolitos DAHLTA 010B con precisión angular de 1' y la profundidad se registró con una ecosonda digital Hondex PS-7, de una alta precisión entre 0.6 y 79 m. En los puntos más próximos a la costa la profundidad se midió con una mira topográfica.

El error medio cuadrático de las posiciones por intersección directa se calculó a partir de la expresión:

$$E = \frac{0.3m\alpha}{\text{Sen}\varphi} \sqrt{D_1^2 + D_2^2}$$

Donde: D_1 y D_2 - Distancias de los teodolitos al punto de medición.

φ - Ángulo que se forma en la intersección de las visuales de los teodolitos.

m y α - Constantes.

El error permisible en este tipo de trabajo es de 1.5 mm en la escala de la plancheta, o sea de 3 m para el levantamiento 1: 2 000.

La distancia máxima entre los puntos de medición fue de 1 cm en la escala de la plancheta, o sea de 20 m para el levantamiento 1: 2 000.

El ángulo φ en todas las mediciones estuvo entre 20° y 150°.

El levantamiento de la plataforma (en la parte exterior de la ensenada) se realizó con una ecosonda FURUNO FCV-612, con registro digital, acoplada a una computadora

portátil. Para el posicionamiento se utilizó un GPS (Global Positioning System) acoplado también a la computadora con lo que se logró un registro simultáneo de la posición y la profundidad en cada punto.

Se realizaron 25 líneas de sondeo en dirección norte – sur con una secuencia de 100 m y una longitud promedio de 550 m. Adicionalmente se hicieron tres líneas de control en dirección este – oeste.

Las profundidades fueron corregidas según los pronósticos de las Tablas de Marea del Servicio Hidrográfico y Geodésico de la República de Cuba (Estación Santa Cruz del Norte). Se utilizó como plano de referencia el nivel medio de bajamares (MLW) que se encuentra 0.16 m por debajo del nivel medio del mar (MSL).

El método de interpolación utilizado fue el de Kriggin. En esencia este método calcula la profundidad en los nodos de coordenadas x,y mediante la fórmula:

$$z = h_{(x,y)} = b_0 + b_1x + b_2y + \sum_{i=1}^N a_i h_{(x_i,y_i)}$$

Donde $h_{(x_i,y_i)}$ es la profundidad de los puntos cercanos a las coordenadas (x,y). El número de puntos N a considerar es un valor de entrada en el método al igual que el radio del círculo que encierra el número de puntos a tener en cuenta en cada caso.

Para determinar los coeficientes $b_0, b_1, b_2, a_1, \dots, a_n$ se ha seguido el principio de que la superficie que representan los puntos seleccionados tenga el mínimo cambio de pendiente. Con el método Kriggin esto se logra siguiendo el criterio de mínima varianza o covarianza de las profundidades.

Como resultado de los trabajos batimétricos se confeccionaron los siguientes mapas:

- De la zona de plataforma frente a la ensenada de Bacunayagua a escala 1: 10 000
- Del interior de la ensenada de Bacunayagua a escala 1: 2 000

Resultados y discusión

Caracterización morfológica general del sector costero y pendiente submarina.

El sector costero donde se encuentra enclavada la ensenada de Bacunayagua se caracteriza por presentar una gran variedad de formas de relieve tanto en su parte emergida como submarina, que le imprimen al paisaje un extraordinario atractivo.

Entre los elementos morfológicos más importantes, se destacan: la terraza abrasiva baja de diente de perro, los acantilados, las playas, la barra de arena fluvial o tibaracón, la plataforma submarina, el canal submarino, el talud insular o borde exterior de la plataforma y los arrecifes coralinos (Fig. 2).

La terraza abrasiva se presenta mayormente en la costa exterior al Este de la ensenada y está formada por calizas pleistocénicas de la formación Jaimanitas. Sobre la terraza se presentan formas cársicas siendo las más representativas el lapiéz o diente de perro y las pocetas de disolución.

Los acantilados (Foto 1) enmarcan la ensenada tanto por su parte oriental como occidental y aunque su altura media no sobrepasa los 10 m sirven de protección al interior de la ensenada frente al viento y el oleaje.

Al fondo de la ensenada, en el extremo Este, se forma una playa de unos 110 m de largo (Foto 2), de origen terrígeno compuesta por arena de color gris. En la parte oriental de esta playa desemboca el río que le da nombre a la ensenada.

La escasa corriente de este río en períodos de estiaje provoca que durante gran parte del año la desembocadura quede cerrada al mar por una barra de arena o tibaracón que es parte indisoluble de la playa. Sin embargo, durante las avenidas, la corriente del río rompe el tibaracón y descarga sus aguas a la costa (Foto 3) y (Foto 4)

En el extremo occidental de la ensenada se presenta otra playa de unos 40 m de largo, de origen también terrígeno, pero formada por arena de color blanco debido a la presencia de calcita en un por ciento elevado, dando la apariencia de una playa biogénica y (Foto 5)

En lo adelante citaremos esta playa como playa occidental y nos referiremos a la playa del extremo este como playa oriental.

Las playas están separadas por un tramo rocoso con una extensión de 250 m y fuerte pendiente, al pie de la cual se observa una gran acumulación de rocas sueltas y (Fotos 6 y 7)

Con la finalidad de conocer las características del perfil de las playas, su comportamiento dinámico y a partir de ellos, analizar las posibles soluciones para su restauración, se realizaron tres perfiles topográficos, dos en la playa oriental por ser la más extensa y uno en la playa occidental.

Las peculiaridades de la pendiente submarina suave de las playas se pueden observar en los perfiles topográficos (Fig. 3 y 4). En el perfil 1 de la playa oriental existe continuidad de la pendiente submarina con la ausencia de afloramiento rocoso hasta 2 m de profundidad. Desde esta profundidad comienza a manifestarse una superficie abrasiva plana con pendiente suave. Las nivelaciones topográficas atestiguan sobre la estabilidad del perfil de playa, el cual está condicionado por la orientación de la línea de costa y por la refracción del oleaje que influye marcadamente en la estabilidad del área.

En la morfología de esta playa se observa una fuerte inflexión formada por el río en el límite vegetación -arena, en la misma inflexión se destaca la presencia de restos de vegetación y otros sólidos arrastrados por el río o depositados por el mar, lo que pone en evidencia que en períodos de fuertes avenidas todo el sedimento de la berma se pierde y el mar penetra hasta el límite de la vegetación costera.

El comportamiento morfodinámico de la playa oriental, con la presencia de la barra de arena o tibaracón evidencia que no existe un déficit actual de ingreso de material terrígeno, la dinámica de la barra de arena que conforma el río es de considerable volumen y mantiene con ella la fuente de alimentación de dicha playa.

En la morfología de la playa occidental (Fig. 5) sobresale la ausencia de la duna y una pendiente más pronunciada que en los perfiles 1 y 2. Esta playa presenta una pendiente continua de arena con poco espesor y Thalassia, que al final coincide con una superficie abrasiva donde rompe el oleaje. En esta zona se observa un mayor

déficit de sedimentos, que en la playa oriental, aparentemente asociado a la pendiente submarina más pronunciada y a la mayor exposición al oleaje.

La escasa altura de las duna en la playa oriental y lo escarpada de la pendiente costera, permiten considerar, que el incremento del efecto erosivo de las olas debido a la elevación del nivel del mar, resulta una importante causa de erosión, esta situación es más grave en la playa occidental donde el perfil se presenta muy aplanado con ausencia de la duna.

Otro elemento de gran importancia es la barrera arrecifal que franquea la ensenada por su parte oriental. Esta barrera es discontinua con surcos perpendiculares a la costa y aflora en numerosos lugares, llegando a alcanzar una profundidad de 8 m y un ancho considerable. Ella yace sobre una superficie abrasiva que se conecta a la costa por el oriente de la ensenada.

Hacia la mitad occidental de la ensenada la barrera termina en un canal que nace justo frente a la playa occidental y se proyecta hacia el mar hasta conectarse con el paleocauce del río que corta la plataforma y conduce a profundidades superiores a los 100 m.

El conocimiento del relieve del fondo en la zona próxima a la costa reviste interés en áreas con perspectivas de uso turístico. Esta afirmación es particularmente válida en aquellos lugares donde se pretende desarrollar actividades náuticas y también tiene valor práctico al evaluar las potencialidades de baño en la zona próxima a la orilla y planificar actividades de buceo contemplativo.

La incidencia del oleaje en la costa está influenciada en alto grado por el relieve del fondo, ya que determina zonas de concentración y disipación de energía. Esta variación espacial en la energía de las olas condiciona la forma que adquieren los perfiles de playa y en fondos deformables establece un equilibrio dinámico entre el oleaje y el relieve.

Los estudios batimétricos de la ensenada permitieron conocer el relieve submarino y las características de la pendiente, así como, en la parte exterior describir la morfología y estructura del relieve del fondo.

En la zona interior de la ensenada aparecen bien definidos el canto rocoso de la barrera coralina y el límite del canal que penetra en el interior de la ensenada por su parte oeste, que a juzgar por la batimetría, va desde los 5 m de profundidad, en la zona más cercana a la playa, hasta los 11 m hacia el exterior de la ensenada. El canal mantiene hasta esta profundidad un ancho de unos 30- 40 m, flanqueado al Este y al Oeste por promontorios coralinos que se elevan verticalmente desde el fondo hasta alcanzar los 2 m de profundidad por debajo del nivel del mar (Fig.6)

A partir de los 11 m de profundidad el canal submarino se ensancha, la pared oriental desaparece y comienza una caída suave desde los 14 m de profundidad hasta los 35 m, donde nuevamente cambia la pendiente del perfil alcanzando un ángulo de unos 45° .

Otra característica del relieve submarino (Fig.7), es la presencia de una barrera coralina paralela a la orientación general de la línea de costa que se levanta con un ángulo de 90° desde los 8 m hasta alcanzar los 0.5 m de profundidad, con ancho y morfología variable. Dicha barrera se comporta como rompiente natural del oleaje en el sector este de la ensenada. La escasa profundidad de dicha barrera impide el paso de embarcaciones hacia la costa.

En dirección al mar la barrera está seguida de una extensa superficie con profundidad media de 6 m, donde se elevan arrecifes coralinos de parches o cabezos sobre los cuales rompe inicialmente el oleaje. En esta zona la navegación resulta muy peligrosa. Otro arrecife coralino se adosa al acantilado de la margen occidental y sirve de límite por el Oeste al canal.

En los perfiles realizados con buceo autónomo hasta la profundidad de 50 m y en la información que proporciona la batimetría se observa que el canal submarino adquiere por su morfología un relieve típico de cañón o paleocauce del río que continua hasta profundidades superiores a los 100 m (Fig.8).

La geomorfología de la plataforma submarina exterior muestra dos tipos de pendiente, una más suave, prácticamente desprovista de relieve positivo en toda su extensión y otra con pendiente caracterizada por la presencia del paleocauce y la barrera coralina bien conformada, hacia el Este, que delimita la parte exterior de la ensenada con la interior a lo largo de la zona con un ancho promedio de 100 m.

Como elemento relevante del relieve, además del mencionado paleocauce del río se encuentra la caída brusca del talud insular con entrantes y salientes y una superficie de terraza de ancho variable, entre los 80 y 200 m. Regularmente el talud comienza a una profundidad que oscila entre los 35 y 40 m, según se observa en los perfiles de ecosonda (Fig. 9) y conduce a profundidades superiores a los 100 m.

Sedimentología

En la zona de playa fueron tomadas 3 muestras, (en la playa occidental, en la barra y en la playa oriental), cuyo análisis denotó que el diámetro medio de las partículas varía en función de la energía responsable de su transporte y deposición (Tabla 1). La composición de los sedimentos de la playa oriental es de un 70% de minerales y el restante 30 % es de origen biogénico, en la barra la composición es de un 85% de minerales mientras que el restante 15 % es de origen biogénico. La composición de los sedimentos de la playa occidental de la ensenada muestra un 70.5 % de minerales con gran abundancia de calcita, debido a lo cual predomina el color blanco por lo que a primera vista parece ser una playa de origen biogénico carbonatado.

Tabla 1. Composición en % de las muestras de sedimentos de la ensenada de Bacunayagua.

Composición	Muestra 1 Prof.22m	Muestra 2 Prof. 14m	Muestra 3 Playa oriental	Muestra 4 Playa occidental	Muestra 5 Barra
Foraminiferos.	18.5	5.5	10.5	15.5	1.0
Moluscos.	7.0	3.0	4.0	5.5	5.5
Algas Cal.halimedes	9.0	22.0	7.5	4.0	7.0
Frag.Corales.	14.5	14.5	6.5	1.5	1.0
Esp. Equinodermos.	1.0	1.0	1.5	-	-
Esp. Alcionarios.	3.0	-	-	3	-
Ostrácodos.	1.5	-	-	-	-
Anélidos	-	0.5	-	-	-
Briozoarios.	2.0	-	-	-	-
Minerales.	43.5	53.5	70.0	70.5	85.5

La composición del material sedimentario que nutre las playas es de origen terrígeno y sólo en algunos sectores de la pendiente submarina aparecen restos biogénicos procedentes de la barra coralina en muy baja proporción, comparado con la presencia de minerales.

Entre los minerales predominan las partículas de serpentinita, calcita y cuarzo que le imprimen a la playa un color crema claro cuando predomina la calcita como en la playa

occidental o color gris cuando sobresale la serpentinita, playa oriental. Los fragmentos conservan su forma angulosa y en algunos casos presentan superficies pulidas y brillosas. En los sedimentos de la playa, sobresalen como restos biogénicos mejor representados las algas calcáreas y los foraminíferos.

Los contenidos de fragmentos de corales de un 14.5% en las muestras de la plataforma (1 y 2) se corresponden con el aporte de la barrera coralina, de igual forma que el alto contenido de minerales (85.5%) en la Muestra 5 de la barra costera y poco contenido de restos biogénicos evidencia el predominio de aporte del río.

Los sedimentos muestreados en la zona costera y en profundidad tienen las siguientes características: las dos muestras de la plataforma marina (1 y 2) están compuestas por contenidos de minerales superiores al 40%, mientras que la composición de minerales en las muestras de las playas y la barra es superior al 70%. Como se puede apreciar el contenido de minerales disminuye en dirección al mar, lo que resulta lógico considerando que las fuentes de aporte de material terrígeno se localizan en el lecho del río.

Las muestras tomadas en la zona, permitieron definir además los valores de los parámetros básicos del análisis granulométrico que se reflejan el diámetro medio (Md) de las partículas que oscila entre 0.35-1.72 milímetros, por lo que la arena clasifica como media a grava con buena selección, según la escala de Wentworth (Fig. 10a y 10b)

Los sedimentos más finos se observan en la pendiente submarina en las profundidades entre los 15 y 35 m, mientras que en los alrededores de la barrera arrecifal, que en parte aflora en el lugar, aparecen sedimentos más gruesos y poco erodados, con restos de corales desprendidos por el oleaje, la generalidad de los granos que componen las muestras están bien agrupados alrededor del valor medio.

En las playas la granulometría disminuye en relación con la distancia de la desembocadura del río. En el tibaracón se acumulan las fracciones más gruesas, transportadas por el río durante las avenidas, mientras que hacia las playas se produce una selección del material quedando depositadas en ella las fracciones correspondientes a arena media y fina.

Dinámica costera.

La dinámica de la zona costera en la ensenada de Bacunayagua está gobernada por la combinación de la influencia del río con el oleaje predominante del NE y las particularidades morfológicas de las playas.

El gran aporte de sedimentos del río con el poco aporte biogénico a la zona costera, le confieren al río una particularidad importante, ya que se convierte en la fuente natural principal de abastecimiento de la playa, y por otra parte, contribuye al abastecimiento de sedimentos a la cuenca submarina.

La manifestación dinámica más importante de la zona costera resulta la barrera de arena que se cierra y se abre de manera natural. En los períodos de estiajes el oleaje se encarga de acumular en la desembocadura del río el sedimento suelto formando una barra que cierra la comunicación entre el mar y el río (Fotos .3 y 4).

Estas características morfodinámicas del tibaracón son similares a las observadas en la zona de Baracoa en el oriente del país, las cuales tienen un comportamiento morfológico dependiente de las condiciones hidrológicas de la cuenca.

Cuando disminuye la corriente del río el oleaje distribuye el sedimento a lo largo de la costa de acuerdo con las características morfológicas de las partes emergida y submarina. A pesar de que la corriente de deriva manifiesta una tendencia hacia la parte central de la ensenada no se observa deposición de sedimentos en ese sector costero por lo abrupto de la pendiente y el efecto erosivo del oleaje.

La constante comunicación entre el río y el mar se pone de manifiesto con los grandes espesores de sedimentos terrígenos > 1,5 m, que se encuentran depositados en profundidades superiores a los 22 m.

La fuerte dinámica existente en la zona se evidencia por la presencia de ripples con alturas superiores a los 50 cm en el canal submarino a la profundidad de 14 m, y una distancia entre ellos, como promedio de 1 m. (Foto 8)

En la figura 11 a partir de la interpretación de los patrones de circulación se representa la tendencia más generalizada de la dinámica de los sedimentos en la Ensenada.

Conclusiones

1.-Los elementos morfológicos más sobresalientes en la ensenada de Bacunayagua son: las playas, la barra de arena o tibaracón, la costa abrasiva, el canal submarino, la barrera coralina, y los cabezos o parches de corales aislados.

2.-El volumen de material arenoso arrastrado por el río garantiza el mantenimiento de las playas de la ensenada, por lo que en caso de ser eliminado o afectado en alguna medida, se estaría despojando a la playa de la principal fuente natural de sedimentos, quedando condenada a desaparecer o ser alimentada periódicamente de manera artificial. En cualquier caso, las actuaciones de mejoramiento de la playa o mantenimiento de manera artificial, requerirán de un proyecto ejecutivo que comprenda la modelación y descripción detallada de la forma de ejecución de los trabajos.

3.-La playa oriental puede llegar a desaparecer temporalmente durante las avenidas debido a la corriente que se genera en el río, reforzada por la corriente de resaca producto del apilamiento de las olas. Como resultado de los cálculos de la evolución de los perfiles de la playa e indicadores morfológicos se obtuvo que se puede esperar un retroceso de 15 m en condiciones extremas.

4.-Los arrecifes coralinos juegan un significativo papel atenuador de la intensidad del oleaje. Esto provoca que para cualquier dirección y altura de las olas en aguas profundas, este llega a la costa con alturas inferiores a un metro.

Bibliografía

CESIGMA S.A.(1999) Estudio de línea base y autoría ambiental. Yacimiento Puerto Escondido. EPEP Occidente. Informe C-99-A-14

Instituto Cubano de hidrología, Tablas de Mareas 2000.

Morral. R (1978)Ingeniería de Costas, Madrid, España.

Ramírez E.(1989) Caracterización Geomorfológica y Dinámica costera de la zona Habana-Matanzas. Tesis para el grado de Dr. En Ciencias Geográficas. Archivo Instituto de Oceanología. CITMA.

Zenkovich, V.P. y Ionin, A.S.(1969) Breve resumen de las investigaciones de la estructura y dinámica de la zona litoral de la Isla de Cuba. Serie Oceanológica No. 8

