

Tasa potencial de transporte de sedimentos del sector Oasis en playa Varadero

Luis Córdova López

Centro de Investigaciones Hidráulicas, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), Marianao, La Habana.

email: cordova@tesla.cujae.edu.cu

Ronnie Torres Hugues

Centro de Investigaciones Hidráulicas, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), Marianao, La Habana.

email: ronnie@cih.cujae.edu.cu

RESUMEN

En este trabajo se determina la tasa potencial de transporte de sedimentos en el sector de playa Oasis de la playa Varadero. Para ello fueron tenidas en cuenta distintas características climáticas, oceanológicas, hidrológicas, geográficas, batimétricas y sedimentológicas, con especial hincapié en esta última. Se describen los perfiles tomados y cuáles formaron parte para la estadística del sedimento. Se establecieron las causas de erosión, se modeló y se cuantificó cada tipo de transporte usando métodos analíticos, estimados y modelos numéricos, como el XBEACH y Delft3D.

Palabras clave: erosión, playa, transporte de sedimentos, Varadero.

Sediment transport potential rate at Oasis sector in Varadero beach

ABSTRACT

In this work the potential rate of sediment transport in Oasis beach sector, of Varadero beach, was determined. For this many variables were taken into account such as climatic, oceanologic, hidrologic, geographic, bathymetrical and sedimentological ones, specially the latter one. All selected beach profiles are described and which of them were included into the sediments statistics. Causes of erosion were established. Each type of sediment transport was modeled and quantified using different methods: analytical, estimation and numerical models as XBEACH and Delft 3D.

Keywords: erosion, beach, sediment transport, Varadero.

INTRODUCCIÓN

Por cerca de 40 años la playa de Varadero, ubicada en la península de Hicacos, Matanzas, Cuba, ha sufrido de erosión causada por la actividad humana, eventos extremos como huracanes y frentes fríos, y a largo plazo el cambio climático. Esto ha causado serias pérdidas de arena que han provocado que la línea de costa se retraiga a lo largo de la península. Este trabajo se centra en la parte más occidental de la península. Este sector de playa está marcado por el hotel Oasis, de ahí su nombre.

Conociendo la importancia del turismo en Varadero para la economía de Cuba, es necesaria una línea de costa estable y atractiva. Esto requiere un incremento de la capacidad de playa y un sistema costero duradero que resista las condiciones más extremas causadas por el paso de un huracán y el potencial cambio climático, aplicable a la empinada batimetría de este sector costero (figura 1).



Figura 1. Vista en planta del sector de playa Oasis

Para llevar a cabo tales requisitos mediante el análisis de variantes de solución es necesario determinar cualitativa y cuantitativamente las causas de erosión asociadas con los procesos de transporte de sedimentos, tales como el transversal, el longitudinal, el eólico y la pérdida de playa seca debida al cambio climático.

DESARROLLO

Las ideas conceptuales para llegar a tales soluciones parten de esquemas metodológicos establecidos para tales fines. En este sentido se puede citar la metodología para la rehabilitación y protección de playas de Torres y Córdova (2010). En ella lo primero que se plantea es caracterizar la zona y, con el uso de herramientas (de medición y de cómputo) determinar los procesos morfológicos para poder establecer cualitativa y cuantitativamente las causas de erosión. Esta es la etapa que se abarca en este trabajo.

El sector Oasis de la playa Varadero, ubicado en el extremo oeste de la península de Hicacos se identifica básicamente por:

- Una longitud de la playa de 800 m.
- El material de fondo varía desde piedra hasta arena.
- El transporte neto de sedimento es dirigido de Este a Oeste.

- En la frontera Oeste comienza la costa rocosa.
- La frontera Este es la entrada a la marina de Varadero, protegida por groins.
- Entre estas fronteras hay estructuras tales como groins y rompeolas, que no cumplen su función.

Variables características de la zona

Este sector puede ser caracterizado, además, por un grupo mayor de variables naturales que no cambian significativamente con la variación diaria de las condiciones del tiempo, que además fungen como datos de entrada para la cuantificación matemática de la erosión, ver tabla 1.

Tabla 1. Resumen de las variables características de la zona

Sección	Variable	Tipo	Promedio anual	Condiciones extremas
Climatología	Temperatura	subtropical	Taire=26°C; Tagua = 27°C	18°C a 32°C
	Precipitaciones	Periodo seco/húmedo	1 320 mm/año	180 mm en Junio
	Vientos	Variables	5 – 9 m/s desde N-NE	120 km/h desde el Noroeste
Oceanología	Marea	Semi diurna	MSL -0,20 m a MSL +0,34 m	-
	Corrientes	Inducida por la marea	10 cm/s	37 cm/s
	Oleaje	Más común Frente frío Huracanes	H=0,29 m; T=3 s H=2,0 m; T=8 s H=2,5 m; T=9,5 s	-
	Surgencia	Corto plazo	-	1,7 m
	Incremento del nivel del mar	Relativo	2,8 mm/año para toda Cuba	
Hidrología	Salinidad	Temporal	35,4 – 35,6 ppt	
	Densidad	Agua	1 025 kg/m ³	
	Viscosidad cinemática	-	0,87*10 ⁻⁶ m ² /s	
Geografía	Estabilidad geológica	Estable	-	-
	Pendiente	M = dy/dx	0,05 para los primeros 60 m y 0,20 hacia aguas profundas	-
	Longitud del sector de costa	-	800 m	
Batimetría	Área media representativa de la batimetría	-	700x700 m ²	

Por las características del caso el fenómeno más importante es el transporte de sedimento, que es función del viento, el oleaje y la corriente. Así que a la sedimentología del lugar se le dedica mayor atención.

Por ejemplo, la playa no presenta un amplio ancho y el sedimento no es abundante en el fondo. Como en otras zonas costeras con limitado suministro de arena proveniente de la tierra, esta arena es fundamentalmente carbonatada, y su formación se debe a la descomposición de organismos marinos. Los organismos vegetales en el área son las algas que crecen en el fondo de áreas alejadas de la costa.

En el año 2010 fueron medidos por especialistas del Instituto de Oceanología una serie de perfiles, cuya localización se muestra en la figura 2, y fueron tomadas muestras del sedimento en distintas partes de la playa, tales como la duna, la parte alta de la playa y la berma, etc.; pero no en todos los perfiles. Sólo en los perfiles PN-1, OS-7 y OS-15 fueron muestreadas todas las partes de la playa. Por lo que constituyen la base para el análisis estadístico del tamaño del grano, para la parte sumergida, que fue empleado a lo largo del trabajo (ver tabla 2), bajo la suposición de que estos perfiles dan una buena estimación para todo el sector de playa. Los resultados de las muestras fueron extraídos de CITMA (2009).

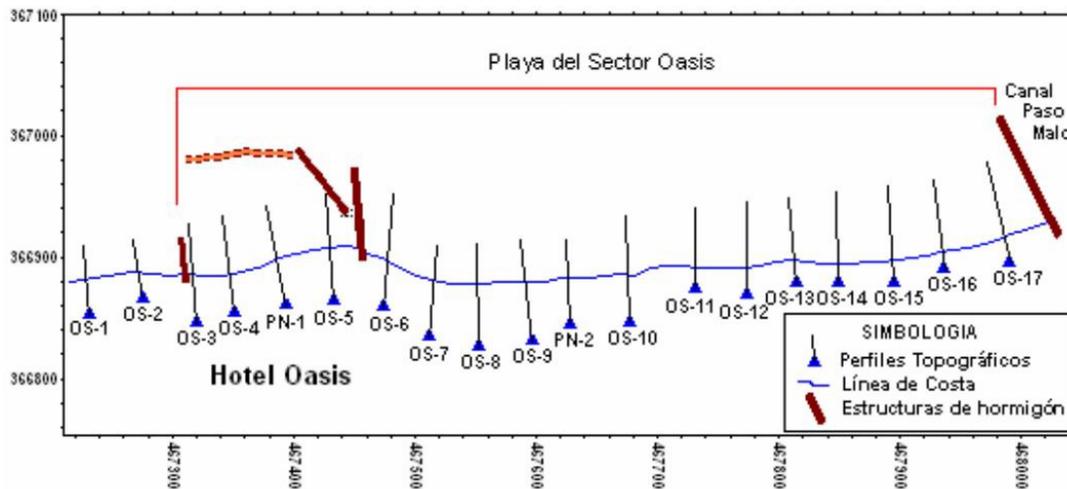


Figura 2. Ubicación de los perfiles en el sector Oasis

Tabla 2. Características del grano

Perfil de playa	Tamaño del grano (mm)			Graduación	
	D10	D50	D90	D90/D10	D75/D25
PN-1	0,28	0,44	0,87	3,13	1,97
OS-7	0,34	0,72	1,61	4,70	1,86
OS-15	0,32	0,71	2,1	6,61	2,51
Promedio	0,30	0,61	1,54	5,18	2,27
Parte baja	0,36	0,78	1,82	5,07	2,27

Como se puede apreciar el diámetro medio es de 0,61 mm, sin embargo, vale señalar la diferencia que existe entre el diámetro del perfil PN-1 y el diámetro de los perfiles OS-7 y

OS-15. En el primero las partículas son más pequeñas y están mejor distribuidas. Este perfil se encuentra localizado entre los groins que se ubican frente al hotel Oasis. Es como si estos groins actuaran como una trampa de sedimentos, dificultando la migración de este tipo de partícula.

Otra cuestión importante es que para la playa húmeda la arena es relativamente gruesa, con un $D_{50} = 0,78$ mm, mientras que también se puede observar sedimento muy fino, lo cual sugiere que no hay mucho transporte suspendido y subsecuentemente el transporte por el fondo es más importante. La densidad del grano es de $2\,700$ kg/m³.

En las expresiones matemáticas de transporte de sedimentos la variable que más influye en los resultados es la dirección del oleaje, que para este caso se consideran dos condiciones de tiempo. Las principales direcciones de aproximación del oleaje en aguas profundas son 45° (NE) y 315° (NO), con probabilidades de ocurrencia de 62 y 19 % respectivamente, donde los 45° (NE) de dirección del oleaje representan los periodos regulares de calma y 315° (NO) representa los frentes fríos.

Un estudio de estas conduce a los siguientes valores de entrada (tabla 3 y tabla 4) para calcular la cantidad de transporte de sedimentos requerido y poder determinar los diferentes tipos de erosión.

Tabla 3. Estadística del oleaje en aguas profundas y en la zona de rompiente

Dirección del oleaje	Ocurrencia	Aguas profundas			Zona de rompiente			
		T_m [s]	H_s [m]	Φ_o [°]	H_b [m]	Φ_b [°]	C [m ^{0,5} /s]	C_{90} [m ^{0,5} /s]
45°	0,62	2,95	0,29	41	0,30	30	54	61
315°	0,19	4,02	0,80	49	0,80	35	61	68

Donde: T_m es el periodo medio de la ola, H_s es la altura de ola significativa en aguas profundas, H_b es la altura significativa en el punto de rompiente, Φ_o es el ángulo en aguas profundas entre la línea de costa y la cresta del oleaje que se acerca, Φ_b es el ángulo en el punto de rompiente entre la línea de costa y la cresta del oleaje que se acerca, C es el coeficiente de Chezy, ecuación (1) y C_{90} es el coeficiente de Chezy relacionado con D_{90} .

$$C = 18 \cdot \log (12 h_b / r) \quad (1)$$

Donde: h_b es la profundidad en el punto de rompiente y r es la rugosidad del fondo ($r=3$, $D_{90}=0,0046$ m).

Tabla 4. Velocidad de la ola (c) y velocidad de grupo (cg) en aguas profundas y la zona de rompiente

Dirección del oleaje	Ocurrencia	Aguas profundas				Zona de rompiente			
		c_o [m/s]	n_o [-]	cg_o [m/s]	b_o [m]	c_b [m/s]	n_b [-]	cg_b [m/s]	b_b [m]
45°	0,62	6,56	0,50	3,29	1	6,57	0,40	2,63	1,15
315°	0,19	8,96	0,50	4,48	1	8,96	0,40	3,58	1,15

Donde: b es el ancho entre dos rayos de ola y n es el número de olas. Los subíndices o y b hacen referencia a aguas profundas y zona de rompiente respectivamente. Teniendo C y C_{90} , se puede determinar el factor de rizo μ mediante la ecuación (2).

$$\mu = (C / C_{90})^{1,5} = 0,80 \quad (2)$$

La velocidad de caída para el diámetro medio del grano puede ser calculada analíticamente por la ecuación (3).

$$W_f = \left(\frac{4}{3} \frac{g D_{50}}{C_D} \left[\frac{\rho_s}{\rho_w} \right] - 1 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Donde: g es la aceleración de la gravedad, ρ_s es la densidad del sedimento, ρ_w la densidad del agua, D_{50} el diámetro medio del grano y C_D es el coeficiente de sustentación. Mediante el programa HIDRICOS v.2, que se describe en Torres et al. (2012) se determinó que la velocidad de caída es de 0,084 m/s.

Erosión

Para tener una situación estable respecto a la cantidad de arena en el sistema las cantidades entrantes y salientes de sedimentos deben ser iguales durante un año. Por lo que, si se decide realizar un vertimiento de arena y, que este no desaparezca antes de ese periodo, se hace necesario realizar un estudio acerca de este sistema de playa, el cual permitirá diseñar soluciones estables. Para ello es necesario conocer y cuantificar las causas de erosión imperantes en esta celda litoral, ver figura 3. En dicha figura están definidos los contornos del sistema en los cuales la línea de costa y los procesos de transporte de sedimentos están presentes.

El balance del transporte de sedimentos paralelo a la costa se define por las variables Q_{in} y Q_{out} , mientras que el balance del transporte de sedimentos perpendicular a la costa se define por los términos de fuente (*source*) y sumidero (*sink*). En este caso el contorno oeste es el lugar donde termina la playa de arena y comienza una costa rocosa y el contorno este es la entrada al canal de Paso Malo.

Las estructuras que están dentro de la celda litoral consisten de dos groins, un grupo de bloques de hormigón y un rompeolas sumergido, con una altura de 60 cm por encima del fondo. El pequeño rompeolas está ubicado a 150 m al Oeste.

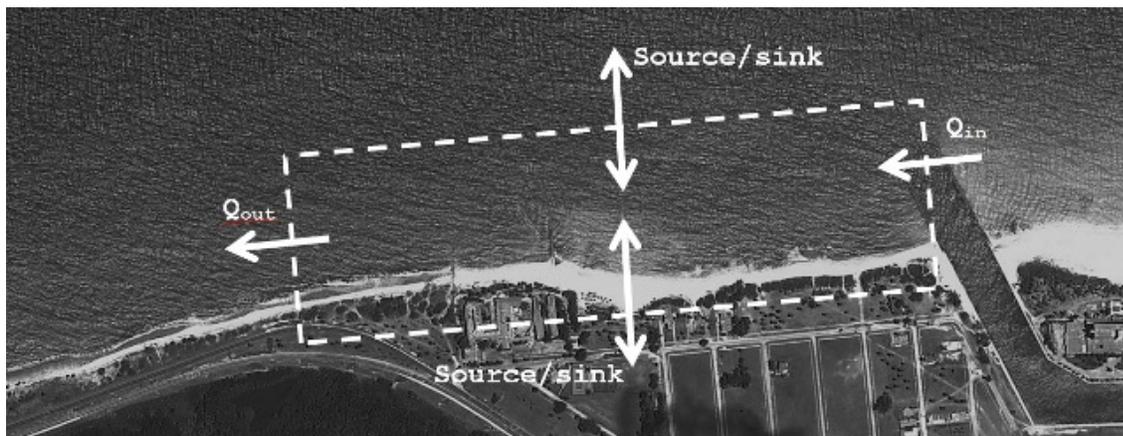


Figura 3. Celda litoral para el sector Oasis

Las causas observadas en este sector de playa son:

- Irregularidades en la transición en el lecho del mar entre la roca y la arena, decrece la capacidad de la arena a sedimentarse.
- El viento en condiciones extremas transporta la arena lejos de la playa.
- El oleaje de condiciones normales, proveniente del Noreste, provoca un transporte longitudinal de arena.
- Las corrientes se dirigen hacia aguas profundas cercanas a las estructuras, sin embargo, se han observado en la dirección longitudinal.
- El incremento del nivel del mar hace que el impacto de las olas sobre las partes altas de la playa sea mayor.
- Bajo la ocurrencia de huracanes el transporte transversal a la costa se dirige hacia aguas profundas y en ocasiones sale del sistema.
- Los frentes fríos, como provienen de la dirección Noroeste, causan ambos tipos de transporte: paralelo y perpendicular a la costa.
- Estructuras hechas por el hombre influyen en el transporte de sedimentos, por ejemplo los groins y las construcciones de las dunas, que obstruyen los procesos naturales de transporte.
- Se practica la extracción de arena.

La cuantificación de los diferentes tipos de erosión tiene dos propósitos fundamentales. Este puede ser usado para obtener una indicación del orden de magnitud de la erosión, con los mecanismos que son los más importantes y en qué dirección se dirige el transporte neto. En segundo lugar, los valores de la cuantificación pueden ser usados para validar los resultados de la modelación matemática, los cuales, una vez validados, pueden servir para evaluar diferentes alternativas de solución.

Transporte de sedimentos perpendicular a la costa

En el caso del proceso de transporte de sedimentos perpendicular a la costa se supone que es inducido fundamentalmente por eventos como huracanes y frentes fríos, los cuales tienen efectos devastadores en el volumen de sedimento, debido a que son transportados más allá de lo que el oleaje en condiciones normales puede reincorporar. Esto implica una pérdida de sedimentos en el sistema de la playa. La magnitud de este proceso fue determinada con ayuda del programa XBEACH (Roelvink et al. 2010).

En un modelo en 2D de XBEACH fue simulado el huracán Michelle. Los datos de oleaje tuvieron una duración de 52 h, el resultado final de los patrones de acumulación y erosión del sedimento se muestran en la figura 4.

Los colores azul y rojo representan la erosión y la sedimentación respectivamente. La influencia del huracán llegó hasta aproximadamente 200 m en dirección al mar, lo que significa que el sedimento es transportado muy lejos, como fue supuesto anteriormente. Sin embargo, la cantidad de transporte de sedimentos perpendicular a la costa es significativo.

También este tipo de transporte, pero debido a los frentes fríos, fue investigado mediante un modelo en 2D usando el XBEACH. Con el cual se obtuvo un comportamiento similar de la erosión y la sedimentación. La observación más importante fue que, además de este transporte, se produce transporte de sedimento paralelo a la costa. Para obtener un valor de esta pérdida de sedimentos, se realizó una modelación en 1D, la cual se representa en la figura 5.

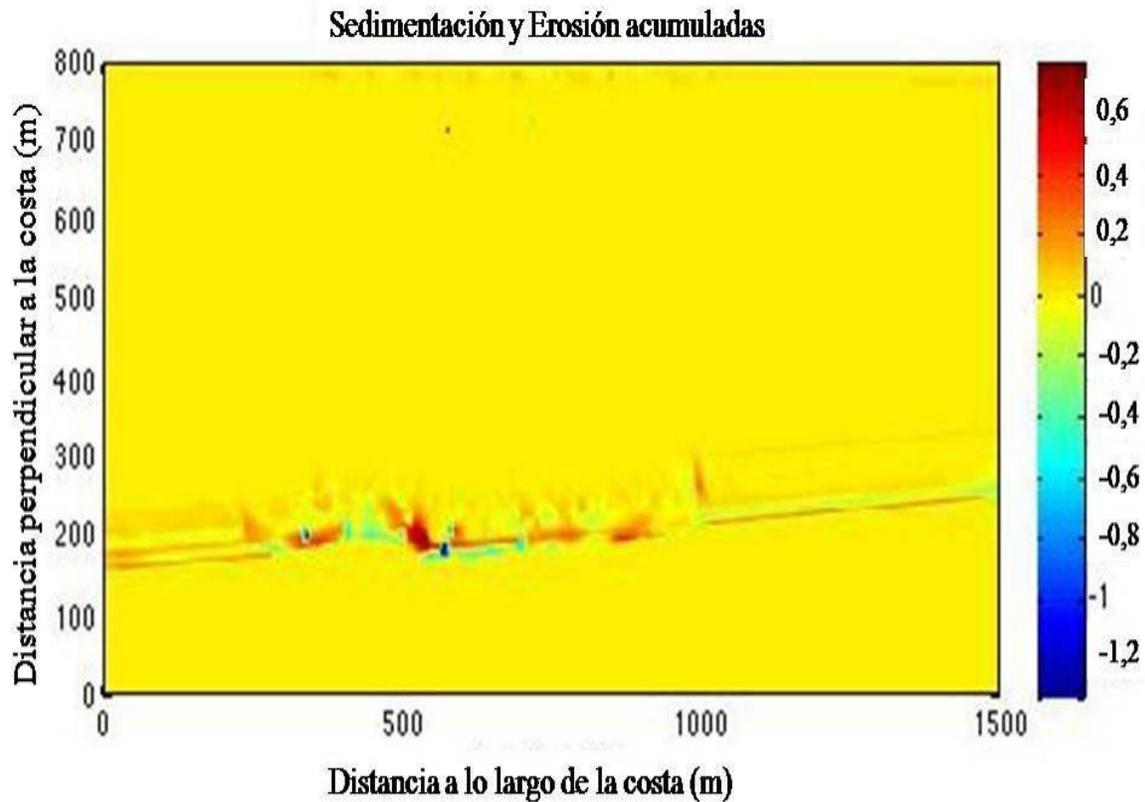


Figura 4. Sedimentación y erosión acumulada

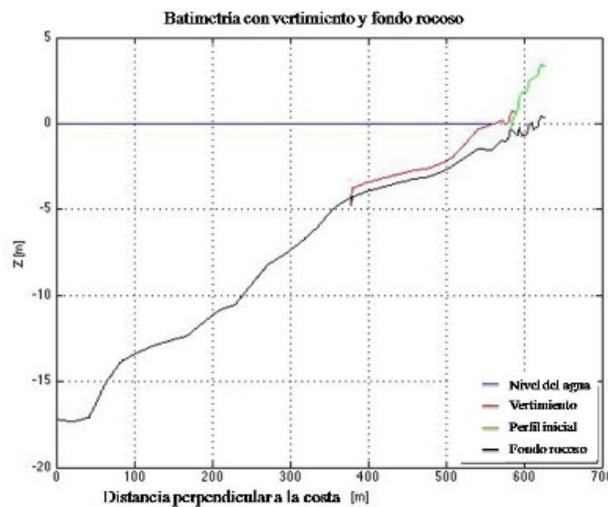


Figura 5. Batimetría con vertimiento de arena y fondo rocoso

La situación es modelada incluyendo un vertimiento para investigar los efectos de un frente frío en un año. La parte superior de la región más esbelta se establece como el contorno detrás del cual se supone que se pierde el sedimento si lo sobrepasa. El volumen de sedimento que pasa este punto fue de $25,5 \text{ m}^3/\text{m}$ de arena.

Transporte de sedimentos paralelo a la costa

Este proceso es modelado fundamentalmente con el uso del Delft3D, en el cual fueron seleccionadas las expresiones de Van Rijn (1993) y Soulsby y Van Rijn (1997) citados por Deltares (2011). Ambos métodos son buenos para reproducir situaciones en las que los transportes de carga y de fondo, incluyendo oleaje y corriente, estén presentes, tal como ocurre en este caso. Sin embargo, ambas solo calculan el transporte de sedimentos en una profundidad, de ahí que la fórmula de CERC se ha empleado también, la cual ofrece un valor que se corresponde con el transporte de sedimentos en la zona de rompientes.

Dada la presencia de estructuras duras en este sector de playa, la máxima capacidad de transporte de sedimentos se calculará aceptando que no existen tales obstáculos.

Para las primeras fórmulas el transporte neto de sedimentos puede ser encontrado para las dos direcciones de oleaje más importantes en combinación con las condiciones específicas de oleaje y la probabilidad de excedencia. Este debe ser del orden de magnitud del determinado por especialistas del Instituto de Oceanología, que es de 50 000 m³/año para toda la península (Juanes 1997). En estudios más recientes este resultado fue criticado teniendo en cuenta que la diferencia de volumen de arena entre los perfiles estaba influenciada también por el transporte de sedimentos perpendicular a la costa, por lo que este debía ser menor, estimándose en un 70% de este (Córdova y Torres 2011).

Con el uso de los datos de la tabla 3 fue calculada la tasa de transporte de sedimentos en dirección Este – Oeste para ambas expresiones, resultando en 49 711 m³/año según la fórmula de Van Rijn (1993) y en 51 203 m³/año según la fórmula de Soulsby y Van Rijn (1997), ver tabla 5.

Aplicando la fórmula de CERC con un coeficiente A = 0,028 como se indica en el Shore Protection Manual (CERC 2002) el resultado modular es de 87 323 m³/año, que es del mismo orden de magnitud que el valor de referencia. La mayor diferencia es que el transporte neto es dirigido en la dirección opuesta, aun cuando la probabilidad de ocurrencia de los frentes fríos es mucho más pequeña, para la cual el transporte de sedimentos es un poco mayor. Aun así, este valor no debe ser despreciado, más aun si se considera la orientación de este sector, que es diferente al resto de la península.

Tabla 5. Resultados del transporte neto de sedimentos

Van Rijn 1993				
Dirección	<i>H_s</i> [m]	<i>Prob.</i>	<i>S</i> [m ³ /año/m]	<i>S</i> [m ³ /año]
45	0,29	0,62	216,76	173,41
315	0,80	0,19	-154,62	-123,69
Transporte neto			49 711 m ³ /año	
Soulsby y Van Rijn 1997				
Dirección	<i>H_s</i> [m]	<i>Prob.</i>	<i>S</i> [m ³ /año/m]	<i>S</i> [m ³ /año]
45	0,29	0,62	129,10	103,28
315	0,80	0,19	-65,10	-52,08
Transporte neto			51 203 m ³ /año	
CERC				
Dirección	<i>H_s</i> [m]	<i>Prob.</i>	<i>S</i> [m ³ /s]	
45	0,29	0,62	0,0020 a 0,0036	
315	0,80	0,19	-0,0211 a 0,0377	
Transporte neto			-87 323 m ³ /año	

El transporte de sedimentos paralelo a la costa fue investigado con el uso del modelo Delft3D, con el que se compararon cualitativamente dos condiciones diferentes de oleaje: las condiciones de oleaje moderado y las condiciones de oleaje de frentes fríos, ya que no se pudo realizar la calibración. Según este modelo, hay muy poco transporte de este tipo producido por las condiciones de oleaje moderado. En la figura 6 se visualizan ambas condiciones.

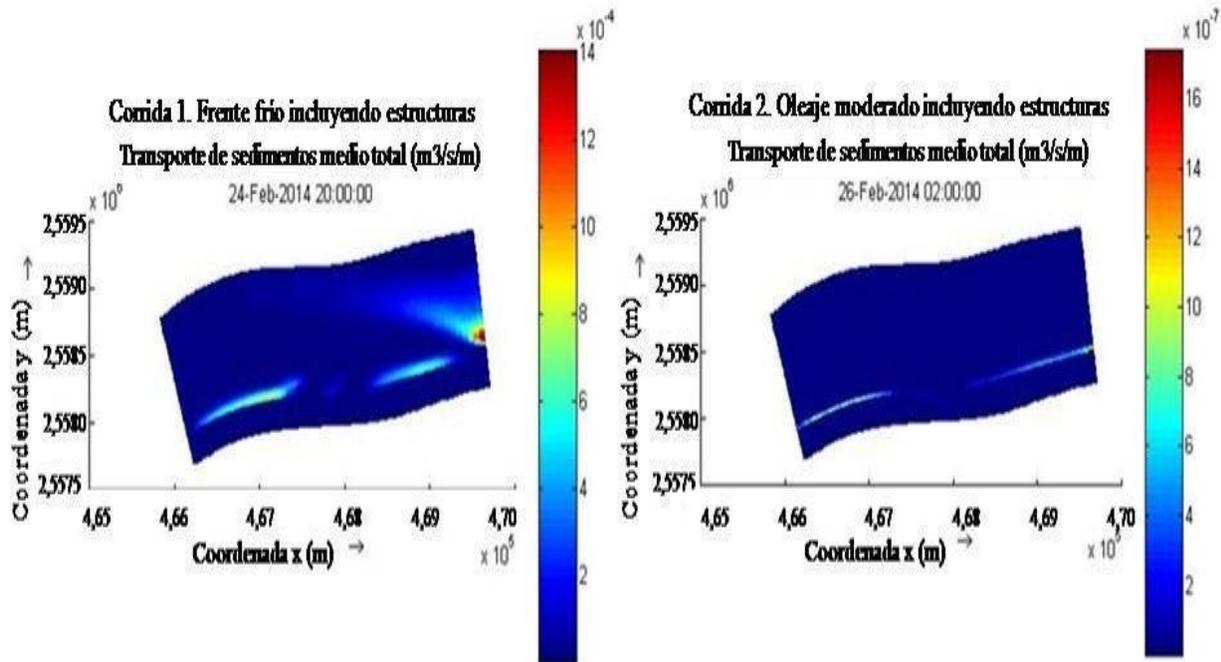


Figura 6. Transporte medio total para frentes fríos (izquierda) y condiciones de oleaje moderado (derecha)

Transporte eólico de sedimentos

El viento en este sector proviene fundamentalmente del Norte y del Noreste con alguna fluctuación del Noroeste durante los frentes fríos, ver figura 7. Bajo condiciones normales es común una velocidad entre 5 y 9 m/s. Como estos vientos son relativamente suaves, la cantidad de transporte de sedimentos relacionado con esta causa se puede aceptar como pequeña. Sólo en casos de huracanes la erosión inducida por el viento tendrá un volumen considerable, que no es el mismo cada año porque depende de la cantidad de tormentas que pasen por la zona.

Como la dirección principal del viento es en dirección a la costa, las dunas capturan la mayor parte del sedimento puesto en movimiento. Dado que el grano de esta zona es dos veces mayor que en el resto de la península y que hay más vegetación, la tasa de transporte de sedimentos es menor en comparación con la del resto de la playa, estimándose en $3 \text{ m}^3/\text{año}$ por metro de costa, lo que representa un valor de $2\,400 \text{ m}^3/\text{año}$ para el sector Oasis completo.

Transporte de sedimentos debido a las corrientes

Para determinar la tasa de transporte de sedimentos, debido solo a corrientes, puede ser usada la aproximación de Bijker. Según esta expresión se obtiene un valor muy pequeño de transporte de sedimentos debido a la carga de fondo. Conociendo que el transporte de sedimentos debido a la carga suspendida es del mismo orden de magnitud, la erosión inducida solo por corrientes puede ser despreciada.



Figura 7. Direcciones del viento en el sector Oasis

Transporte de sedimentos por incremento del nivel del mar

El incremento del nivel del mar, para esta zona, predicho por los especialistas del Instituto de Oceanología es de 2,9 mm/año. Debido a esto, grandes áreas de playa serán inundadas e impactadas por las olas causando una rápida regresión de la línea de costa. Para estimar este retroceso la regla de Bruun, ecuación (4), fue empleada.

$$R = \frac{x_c \cdot h}{d_d + d_c} \quad (4)$$

Donde: R es la regresión de la línea de costa [m], x_c es el ancho del perfil activo de la playa [m], h es el incremento del nivel del mar [m], d_d es la altura de la duna [m] y d_c es la profundidad de cierre [m].

$$d_c = 1,6 \cdot H_{s,12} \quad (5)$$

Donde: $H_{s,12}$ es la altura significativa de la ola con ocurrencia de 12 horas al año [m].

El principio de esta regla es representado en la figura 8.

De acuerdo con la información extraída del programa HIDRICOS, acerca de la estadística del oleaje para una ocurrencia de 12 horas al año, la altura de ola correspondiente es mayor que 2 m, que es el máximo valor presentado. Sin embargo, para calcular la profundidad de cierre se adopta una altura de ola de 4 m, lo que conduce a un valor de 6,4 m, y una regresión de la costa de 0,22 m/año, lo que volumétricamente representa 2,3 m³/año por metro de costa y equivale al área gris de la figura 8. Considerando el ancho total de este sector la cantidad total de sedimento es de 1 830 m³.

Resumen de la cuantificación

La tabla 6 muestra qué tipos de erosión fueron calculados a mano y cuáles estimados considerando la información y el conocimiento. El resultado es dado si es posible. La magnitud de estos establece la medida de la erosión de esta playa.

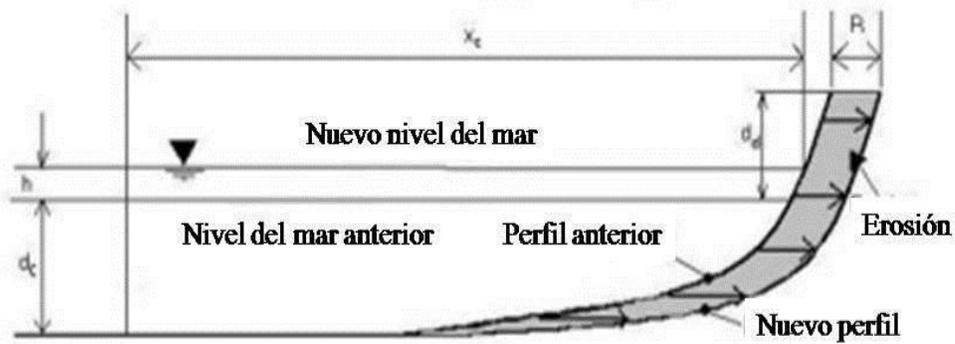


Figura 8. Definición de las variables para la regla de Bruun

Tabla 6. Magnitud de las causas de erosión

Causas de erosión	Transporte de sedimento (m ³ /año)	Método de obtención
Gradientes en el transporte de sedimentos		
Transporte transversal	20 400	Modelo XBEACH
Transporte longitudinal	-87 323	Analítico
Transporte eólico	2 400	Estimado
Transporte debido a las corrientes	Despreciable	Analítico
Clima		
Por incremento del NMM	1 840	Analítico
Interferencia humana		
Debido a las estructuras	0	Modelo Delft3D
Extracción	0	Estimado

CONCLUSIONES

- El sector de playa Oasis tiene características muy diferentes de las del resto de la península, como por ejemplo la orientación de la línea de costa, lo que hace que reciba con más fuerza los impactos de los frentes fríos, para los cuales la dirección principal del oleaje es de 315° desde el Norte. También se aprecia una batimetría más empinada, que provoca que el oleaje no tenga una pérdida de energía significativa; y hay presencia de otras estructuras, alrededor de las cuales los sedimentos se fueron, por lo que se aprecia un fondo rocoso y no ofrecen una vista agradable y deben ser eliminadas.
- El mayor problema hasta el momento es que prácticamente no hay sedimentos en el sistema que abarca la estructura de entrada de la marina de Paso Malo en el Este hasta la zona rocosa que está 800 m al oeste. Si las estructuras llegaran a desaparecer el sistema puede llegar a desarrollar una capacidad relevante de transporte de sedimentos perpendicular a la costa.

- El mayor aporte es el generado por transporte de sedimentos perpendicular a la costa en corto plazo debido a tormentas tropicales y huracanes, los cuales arrastran el material de la playa seca y lo depositan a 200 m de la costa.

AGRADECIMIENTOS

Se hace un especial agradecimiento al Dr.C. Ernesto Tristá y a la MSc. Kenia Hernández, especialistas de la empresa Inversiones Gamma S.A del CITMA, por su valiosa contribución relacionada con los datos de la playa. También se agradece a Gosse de Boer, Laurens Poelhekke, Martijn Schlepers y Eslie Vrolijk, estudiantes de la Universidad Técnica de Delft, por el esmerado trabajo realizado que sirvió como base para este.

REFERENCIAS

- CERC** (2002). “Shore Protection Manual”, U.S. Army Coastal Engineering Research Center, EM 1110-2-1412, ISBN: 978-0-89499-092-2, USA, April.
- CITMA**(2009). “Information about the oasis beach sector”, Departamento de procesos costeros, Instituto de Oceanología, Reporte Técnico-OS09, La Habana, Cuba, Abr.
- Córdova L. y Torres R.** (2011). “Modelo matemático para la determinación del transporte longitudinal para playas del Caribe”. Tecnología y Ciencias del agua, Vol II, Julio – Septiembre, pp. 127 – 140, ISSN 0186-4076, IMTA, México.
- Deltares** (2011). “Simulation of multi-dimensional hydrodynamics flows and transport phenomena, including sediments. User Manual. Version 3.15”, Deltares, User Manual Delft3D-FLOW, Delft, The Netherlands, January.
- Juanes J.** (1997). “La erosión en las playas de Cuba. Alternativas para su control”, Tesis de doctorado, Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, La Habana.
- Roelvink D., Reiniers A., van Dongeren A., Van Thiel de Vries J., Lescinski J., and McCall R.** (2010). “XBeach Model Description and Manual”, Delft University of Technology, User Manual, Delft, The Netherlands, January.
- Torres R. y Córdova L.** (2010). “Análisis crítico sobre las metodologías para la rehabilitación de playas”. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Vol. XXXI, No. 3, pp. 60–64, ISSN 1815-591X, CIH, Inst. Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae). Habana.
- Torres R., Córdova L. y Fernández F.** (2012). “HIDRICOS: Una herramienta de investigación y desarrollo en ingeniería costera”. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Vol. XXXIII, No. 3, pp. 98 – 106, ISSN 1815-591X, CIH, Inst. Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae). Habana.