



**Análisis preliminar de la evolución a mediano plazo de Playas del Este, Ciudad de la Habana, Cuba**  
***Preliminary analysis of the medium-term evolution in Playas del Este, Cuba***

Magalys Sosa Fernández, Roberto Guerra García y Lourdes Rivas Rodríguez

Instituto de Oceanología. Ave. 1ra No. 18406 e/ 184 y 186, Reparto Flores, Playa. Ciudad de La Habana, Cuba. [magalis@oceano.inf.cu](mailto:magalis@oceano.inf.cu)

**Resumen**

Se utiliza la información de perfiles de playa en cuatro localidades de las Playas del Este obtenidos en los últimos 27 años, para describir la tendencia de la playa a mediano plazo. A partir de datos de posición de la línea de costa y de volúmenes de arena de la playa emergida se estableció la tasa de cambio de la playa utilizando la regresión lineal simple. Los resultados confirman la tendencia erosiva de un sector de la playa de Guanabo. La tasa anual de retroceso de la línea de costa ha sido de  $-0.97$  m/año que ha establecido un cambio total de  $-26 \pm 7$  m. La reducción de los volúmenes de arena ha sido de  $-28 \pm 8$  m<sup>3</sup>/m, a un ritmo de  $-1.04$  m<sup>3</sup>/m/año. En la playa de Santa María, la línea de costa en algunas localidades ha experimentado retroceso y en otras ha ocurrido poco cambio, sin embargo en todos los casos se ha producido un incremento notable en los volúmenes de arena de la playa emergida debido a la formación y crecimiento de las dunas. La reactivación de los procesos eólicos que dio lugar al restablecimiento de la morfología de dunas fue posible por la eliminación del bosque de casuarinas que, durante más de 20 años, ocupó la zona posterior de la playa.

**Abstract**

The information of beach profiles, obtained during the last 27 years in four localities of Playas del Este, is used to describe the medium-term tendency of the beach. Starting from data of the shoreline location and sand volumes of the emerged beach, the beach change rate was established applying simple linear regression. The results confirm the erosive tendency of a sector in Guanabo beach. The annual rate of shoreline retreat has been  $-0,97$  m/y, which has established a total change of  $-26 \pm 7$  m. The reduction in sand volumes has been  $-28 \pm 8$  m<sup>3</sup>/m, at a rate of  $-1,04$  m<sup>3</sup>/m/y. In Santa Maria beach, the shoreline has experienced retreat in some localities or little change in the others. However, a remarkable increase in sand volumes of the emerged beach has taken place in all the cases. The reactivation of Aeolian processes, resulting in the reestablishment of dune morphology, was possible due to the removal of the Australian pine forest that had occupied the area from the beach top landward for more than 20 years.

**Palabras claves:** playas, evolución a mediano plazo, regresión lineal.

**Keywords:** beach, medium-term evolution, linear regression.



## INTRODUCCIÓN

El análisis de la evolución costera está dirigido a la evaluación de los cambios morfológicos de la costa, en un período de tiempo particular. Pero, que en un litoral domine la erosión o la acumulación, como expresión de tales cambios, depende de muchos factores y particularmente de la escala temporal considerada.

La costa está sometida a pérdidas y ganancias de sedimentos en intervalos de tiempo variables: unas ocurren a corto plazo (diarias, estacionales o anuales) por cambios en el régimen de oleaje, otras suceden de un año a otro en dependencia de la ocurrencia o no de tormentas y, finalmente, existe una tendencia o cambio a largo plazo que se expresa en el debilitamiento o en la robustez de la morfología de la costa, en dependencia de la magnitud de los aportes de sedimentos y/o el ascenso del nivel del mar, fundamentalmente.

La complejidad de estos procesos impone un grado alto de dificultad a la tarea de establecer el carácter del cambio costero.

Galgano y Douglas, (2000) proponen describir la evolución de la línea de costa con un modelo básico que consiste de una tendencia subyacente con episodios sobre-impuestos de erosión y acumulación que oscilan alrededor de aquella.

Para calcular esa tendencia y el cambio costero se han propuesto numerosos métodos, en su mayoría, estadísticos que permiten incorporar la incertidumbre en las predicciones para el futuro (Dolan, Fenster y Holme, 1991; Crowell, Douglas y Leatherman, 1997; Galgano y Douglas, 2000; Douglas, Crowell y Leatherman, 1998; Douglas y Crowell, 2000; Fenster *et al.*, 1993).

En este trabajo se utiliza la serie histórica de mediciones topográficas de las secciones de playa en Santa María del Mar y Guanabo, para evaluar su evolución en los últimos 27 años utilizando la regresión lineal simple.

## MATERIALES Y METODOS

### Área de estudio

Las playas de Santa María y Guanabo, conocidas también como las Playas del Este, se extienden sobre una longitud aproximada de 12 km. y se encuentran ubicadas a unos 20 km. al este de la Ciudad de la Habana (Figura1).

El litoral es ligeramente cóncavo y sigue una orientación aproximada WNW –ESE. La fuente de los sedimentos es predominantemente marina con un predominio de los restos esqueléticos de organismos marinos (> 85 %). El diámetro de la arena de la playa muestra una tendencia a disminuir de W-E desde 0.78 mm a 0.22 mm y la selección del sedimento mejora también en dirección al este, de 1.00 a 0.7  $\phi$  (Guerra García, Sosa Fernández y Rivas Rodríguez, 2009). El ancho de la playa es variable a lo largo de la costa.

Las dunas tienen su mayor desarrollo en el sector central del litoral, donde alcanzan hasta 8 m sobre el nivel medio del mar. El origen de las dunas actuales de estas playas está vinculado a un episodio relativamente reciente de transporte eólico iniciado, entre 1981 y 1985, cuando se taló un bosque de casuarinas (*Australian pine*) que ocupaba toda la franja superior de la playa y que dio lugar a una intensa removilización del sedimento. La ausencia de una cobertura de vegetación eficiente para atrapar la arena en movimiento

favoreció el desarrollo de numerosas formas eólicas erosivas y la pérdida de arena hacia los terrenos interiores Sosa, Guerra, Felipe, Niévares y Alvarez (2009).

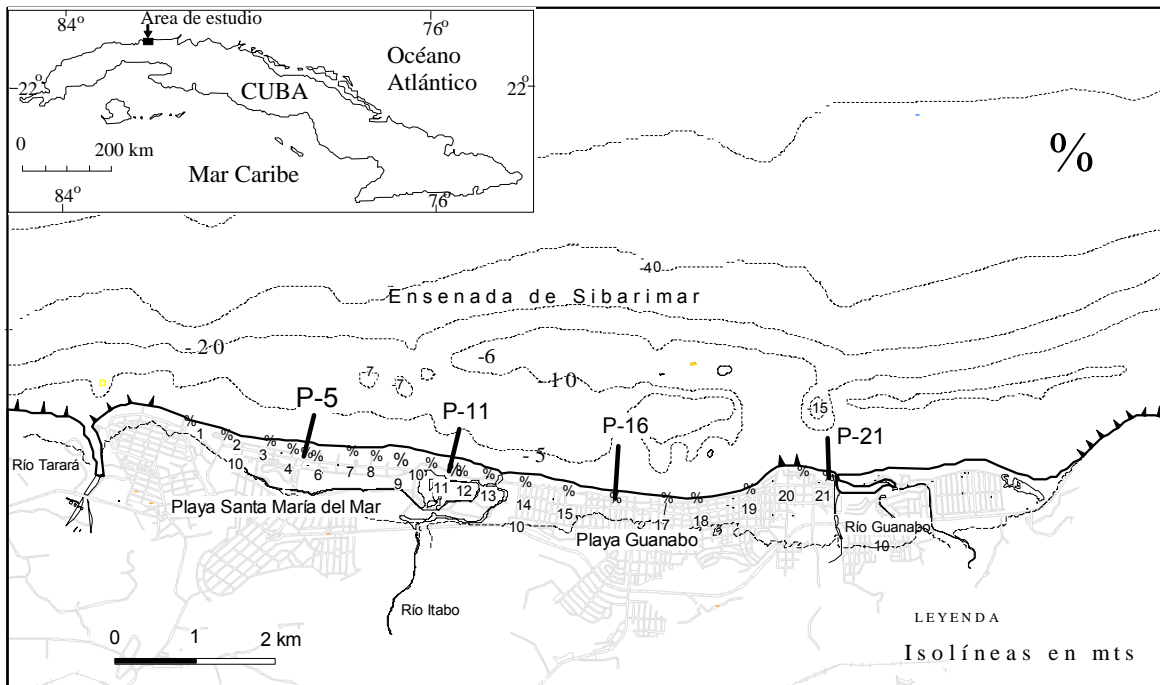


Figura 1. Área de estudio y ubicación de los perfiles de playa.  
*Figure 1. Location of the study area and the beach profiles.*

La marea es de tipo mixta semidiurno, con una amplitud media que oscila entre 0.25 y 0.5 m, (Servicio Hidrográfico y Geodésico de la República de Cuba, 2005).

Debido a la orientación general de la costa, estas playas están expuestas a los oleajes de las direcciones correspondientes a los cuadrantes primero y cuarto. El oleaje prevaleciente es generado localmente sobre un fetch limitado por el Gran Banco de Bahamas. No se dispone de mediciones de oleaje, sin embargo, la potencia modal del oleaje está asociado a una  $H_s = 0 - 1\text{m}$  y un  $T = 4 - 5$  seg de acuerdo al Ocean Wave Statistics (1988).

La existencia de extensos bajos submarinos poco profundos, y en ocasiones próximos a la costa, ofrece protección a la playa de Guanabo, donde el oleaje es menos energético. Así mismo, es de esperar que las condiciones de energía de las olas se incrementen hacia el W a medida que disminuye la protección de estos bajos.

La ubicación de los perfiles de playa que actualmente comprenden el programa de monitoreo se muestra en la Figura 1. Cada línea de perfil comienza en un punto de control fijo, de cota conocida referida a la red geodésica nacional, aunque en la mayor parte de las localidades existen estacas secundarias, ya que la visibilidad a lo largo del perfil está impedida por algún obstáculo o por la propia distancia.

El programa de perfilaje de la playa se ha ejecutado irregularmente desde enero de 1982 hasta la actualidad. Las mediciones se han realizado utilizando teodolito y mira. Existe una gran abertura en la serie de datos en el período comprendido entre marzo de



1997 y enero del 2004 por la interrupción del monitoreo. Para el análisis de la evolución de la línea de costa, en casi tres décadas, se utilizaron los datos de las localidades P5, P11, P16 y P21 (Fig.1) que disponen de puntos de control permanentes desde 1982.

En cada línea de perfil se definió el área de playa emergida activa, delimitada hacia tierra por la ubicación del punto de control o monumento y, hacia el mar por el intercepto del perfil de playa con la posición del nivel medio del mar (NMM). El área de esta sección fue convertida a volumen por unidad de longitud de playa ( $m^3/m$ ).

Para el cálculo de la tasa de cambio anual se utilizó el análisis de regresión lineal, (Dolan *et al.* 1991; Crowell *et al.* 1997; Galgano y Douglas, 2000; Douglas *et al.*, 1998; Douglas y Crowell, 2000; Fenster *et al.*, 1993). Sin embargo, en la generalidad de las referencias citadas este método es utilizado para establecer la tendencia de la costa a largo plazo, utilizando datos de posición de la línea de costa obtenida de diversas fuentes, principalmente, series de mapas históricos y fotografías aéreas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Incertidumbre en las tasas de cambio calculadas

Las tendencias y las tasas de cambio de la línea de la costa calculadas sólo son tan fiable como: (1) los errores de medición que determinan la exactitud de cada posición de la línea de la costa, (2) errores de muestreo que responden de la variabilidad de posición de la línea de la costa y (3) los errores estadísticos asociados con la compilación y comparación de las posiciones de la línea de la costa, (Hapke, Reid, Richmond, Ruggiero y List, 2006).

#### Error de medición:

##### a) Instrumental.

Con la finalidad de estimar el error de medición se realizó una evaluación de 85 mediciones repetidas entre el monumento primario y la estaca secundaria, en diferentes localidades (Tabla 1).

Como puede observarse, en longitudes inferiores a los 70 m el error en distancia ( $\rho_{di}$ ) promedia  $\pm 0.46$  m. Por su parte, el error en desnivel promedia  $\pm 0.04$  m.

Por ello convenimos que un estimado razonable del error en distancia de nuestras mediciones sería de  $\pm 0.5$  m y de  $\pm 0.04$  m el error en desnivel, considerando las peores situaciones.

La magnitud del error en desnivel tiene asociado un error volumétrico (Tabla 2) que se incrementa proporcionalmente con la distancia. Así, para un error máximo de desnivel de 8 cm., a partir de una  $\rho_{ds}$  de  $\pm 0.04$  m, a la distancia de 50 m, el error volumétrico sería de  $4 m^3/m$ , mientras que a una distancia de 100 m el error se incrementa a  $8 m^3/m$ .

Tabla 1. Error en distancia y desnivel a partir de mediciones repetidas.  
 Table 1. Error in distance and elevation starting from repeated measurements.

Número de mediciones	Distancia media (m)	$\rho_{di}$ error en distancia (m)	Desnivel medio (m)	$\rho_{ds}$ error en desnivel (m)
25	16.85	0.11	1.89	0.03
30	58.28	0.64	0.47	0.05
20	66.39	0.65	0.86	0.05
10	66.51	0.44	1.29	0.04
Total de mediciones		Error promedio		Error promedio
85		0.46		0.04

Tabla 2. Error volumétrico en relación a la distancia de medición para un desnivel máximo de 0.08 m.

Table 2. Volumetric error in relation to the measurement distance for a maximum elevation of 0.08 m.

Distancia (m)	25.00	50.00	75.00	100.00	125.00	150.00	200.00
Volumen $m^3/m$	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	16.0

Teniendo en cuenta que la distancia máxima de lectura directa hasta el intercepto con el NMM es de 70 m en los perfiles 5 y 11, y de 50 m en los perfiles 16 y 21 se ha estimado que el error en volumen es de  $\pm 6 m^3/m$  y de  $\pm 4 m^3/m$  en unos y otros.

b) Variabilidad de los cambios a corto plazo.

Una de las fuentes de error en el cálculo de las tasas de cambio de la playa son las fluctuaciones de alta frecuencia relacionadas a los cambios temporales en las escalas anuales e interanuales, pero generalmente, no existen registros con suficiente densidad temporal para ser evaluadas y cuantificadas (Dolan *et al.*, 1991; Douglas y Crowell, 2000). La serie de datos disponible en este estudio resulta conveniente para estos propósitos.

A los efectos del análisis de la variabilidad temporal de la playa en el corto plazo el parámetro morfométrico más útil es la desviación estándar del ancho medio como indicador de la movilidad de la línea de costa, Dolan, Hayden y Haywood, (1978) y Short (1980).

Tabla 3. Variabilidad temporal en el ancho de la playa emergida (m/m)  
 Table 3. Temporal variability in width of the emerged beach (m/m).

	Parámetros	Perfil 5	Perfil 11	Perfil 16	Perfil 21
1982	Ancho medio	47.4	-	69.9	45.9
	DS ancho m.	5.7	-	5.0	4.5
1986	Ancho medio	46.2	157.7	57.7	38.5
	DS ancho m.	3.6	4.5	7.6	5.6
1993	Ancho medio	46.3	149.3	54.0	34.3
	DS ancho m.	7.0	11.3	3.9	4.0
1995-1996	Ancho medio	61.3	154.3	56.9	34.4
	DS ancho m.	10.6	8.7	6.8	4.9
2004	Ancho medio	54.0	122.0	43.1	36.3
	DS ancho m.	15.7	4.8	3.5	4.1
2007-2008	Ancho medio	41.8	110.7	40.3	38.3
	DS ancho m.	7.4	3.0	3.4	4.5
Totales	Promedio A. M.	49.5	138.8	53.7	37.9
	Promedio DS ±	8.3	6.4	5.0	4.6

Tabla 4. Variabilidad temporal en los volúmenes de arena de playa emergida (m<sup>3</sup>/m).  
 Table 4. Temporal variability in sand volumes of the emerged beach (m<sup>3</sup>/m).

	Parámetros	Perfil 5	Perfil 11	Perfil 16	Perfil 21
1982	Vol. medio	92.7	-	73.9	41.7
	DS Vol.m.	3.5	-	8.2	12.6
1986	Vol. medio	93.4	158.2	66.6	37.8
	DS Vol.m.	2.9	14.3	5.7	8.0
1993	Vol. medio	80.0	194.4	73.2	34.1
	DS Vol.m.	5.9	10.3	3.0	3.1
1995-1996	Vol. medio	100.5	230.3	73.3	37.7
	DS Vol.m.	12.2	11.5	4.2	6.1
2004	Vol. medio	98.7	197.4	45.2	39.9
	DS Vol.m.	6.8	3.6	3.4	2.2
2007-2008	Vol. medio	113.6	198.1	45.7	44.0
	DS Vol.m.	6.9	5.2	3.0	4.4
Totales	Promedio V. M.	96.5	195.7	63.0	39.2
	Promedio DS ±	6.4	9.0	4.6	6.1

En general, este indicador toma valores en el rango de  $\pm 10$  m, sólo superados ocasionalmente en los perfiles 5 y 11 que reportan en todo momento la mayor movilidad de la línea de costa (Tabla 3). Puede observarse que, con la excepción del perfil 21, se producen variaciones interanuales importantes en la posición de la línea de costa dentro de un mismo perfil, de acuerdo a las diferencias de la desviación estándar de un año a otro y que, como promedio, el perfil 5 muestra la mayor movilidad de la costa.

La desviación estándar del volumen medio de la playa es una medida de la intensidad del intercambio del sedimento entre las pendientes emergida y sumergida de la playa. El comportamiento de este indicador refleja variaciones a lo largo de la costa y también de un año a otro (Tabla 4). Sin embargo, el perfil 11 muestra, como promedio, el mayor volumen de intercambio.

Estos resultados dan cuenta de la intensidad de los cambios a corto plazo de la playa como respuesta a variaciones anuales e interanuales en las condiciones del oleaje. La variabilidad a lo largo de la costa es una consecuencia de diferencias en el grado de exposición al oleaje, por ligeros cambios de orientación de la costa y una batimetría irregular.

No obstante, se advertirá que frecuentemente la variabilidad anual en los volúmenes de arena de la playa emergida, expresada en las desviaciones del volumen medio, es de igual magnitud al error de medición (instrumental). Por tanto, nuestras mediciones sólo son capaces de detectar los cambios volumétricos notables relacionados a períodos de mayor actividad del oleaje. Lo que no evita que puedan distinguirse los momentos de poco cambio.

### Error Total.

La incertidumbre total de los datos de posición y de volumen de la playa se calculó utilizando la teoría de propagación de errores como proponen Crowell, Leatherman y Buckley (1991). Para el cálculo del error total, (Tabla 5), se toma la raíz cuadrada de la suma de los errores parciales al cuadrado, asumiendo la aleatoriedad e independencia de los errores (instrumentales y de variabilidad), dado que una sobrestimación (o subestimación) en uno no implica necesariamente una sobrestimación (o subestimación) en el otro.

Tabla 5. Incertidumbre total de las mediciones.

*Table 5. Total errors in measurements.*

Errores de medición		Perfil 5	Perfil 11	Perfil 16	Perfil 21
instrumentales	de posición (m)	0.5	0.5	0.5	0.5
	de volumen (m <sup>3</sup> /m)	6.0	6.0	4.0	4.0
de variabilidad	de posición (m)	8.0	6.0	5.0	5.0
	de volumen (m <sup>3</sup> /m)	6.0	9.0	5.0	6.0
Error total	de posición (m)	8.0	6.0	5.0	5.0
	de volumen (m <sup>3</sup> /m)	8.0	11.0	6.0	7.0

En la Tabla 5 se aprecia que la mayor contribución al error total de posición proviene de la variabilidad a corto plazo de la línea de costa, mientras que el error total en volumen tiene su origen, básicamente, en las inexactitudes instrumentales que fueron comentadas anteriormente.

### Tasas de cambio de la playa.

El grado de ajuste de los datos de posición de la línea de costa a la recta de tendencia es relativamente bueno en los perfiles 11 y 16. El modelo de regresión explica poco más del 60% de la variabilidad en la posición de la línea de costa.

En ambos casos, la correlación es moderadamente buena y de signo negativo lo cual indica que la línea de costa ha retrocedido hacia tierra en el transcurso de los años. La prueba de significación indica los resultados son significativos estadísticamente a un nivel del 1 % (Fig. 2).

El error estándar de estimación (diferencia entre el valor real y el predicho por la recta de regresión) es de  $\pm 10$  m y de  $\pm 7$  m para los perfiles 11 y 16, respectivamente, y se explica en gran medida por el error total de medición, particularmente por el error en posición asociado a las fluctuaciones de la línea de costa en el corto plazo (Tabla 5).

A partir de la tendencia calculada se puede establecer que la tasa de cambio de la playa en estos perfiles ha sido de -1.54 y -0.97 m/año, respectivamente. El cambio total registrado es de  $-40 \pm 10$  m en el perfil 7 y de  $-26 \pm 7$  m en el perfil 11, en 27 años aproximadamente (Tabla 6).

Tabla 6. Tasas de cambio anual en la posición de la línea de costa.  
*Table 6. Annual change rate in the coastline position.*

Localidades	Tasa anual m/año	Error de estimación (m)	Cambio total (m)
Perfil 5	- 0.01	10.2	- 0.27
Perfil 11	- 1.54	10.0	- 40.0
Perfil 16	- 0.97	6.6	- 26.2
Perfil 21	- 0.18	6.7	- 4.9

Los valores del  $R^2$  en las rectas de los perfiles 5 y 21 demuestran que el modelo de regresión lineal no explica la variabilidad en la posición de la línea de costa, aun cuando, en el perfil 21 la correlación es significativa a un nivel del 5%. A partir de la tasa anual estimada, el cambio de posición de la línea de costa en 27 años ha sido de  $-0.3 \pm 10$  m y  $-5.0 \pm 7$  m, respectivamente.

En ambos casos el error de estimación, aunque explicable por la incertidumbre de las mediciones, es mucho mayor que el cambio total estimado (Tabla 6). Es decir que la diferencia entre el valor real de posición y el valor pronosticado por la tendencia es mayor que el retroceso de la costa estimado. Las predicciones a partir de estas regresiones tienen una gran incertidumbre.



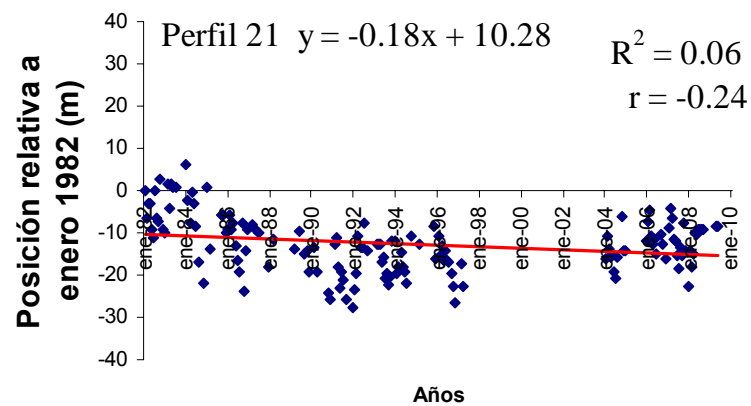
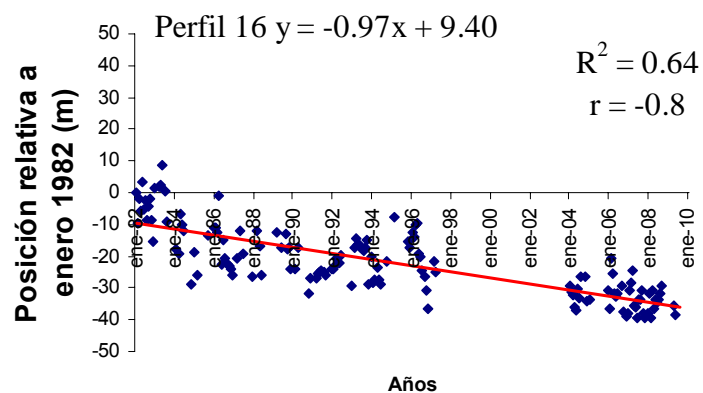
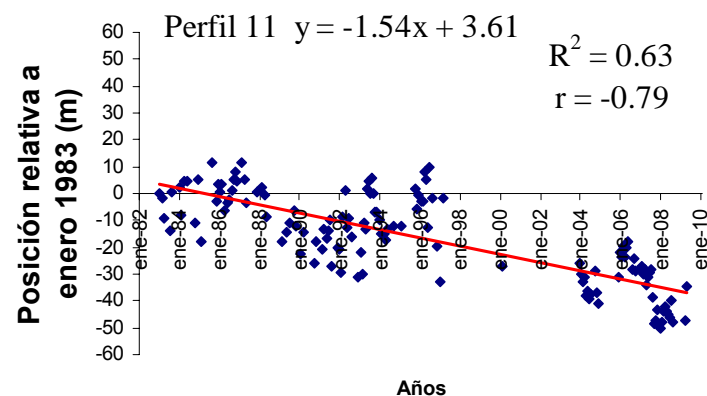
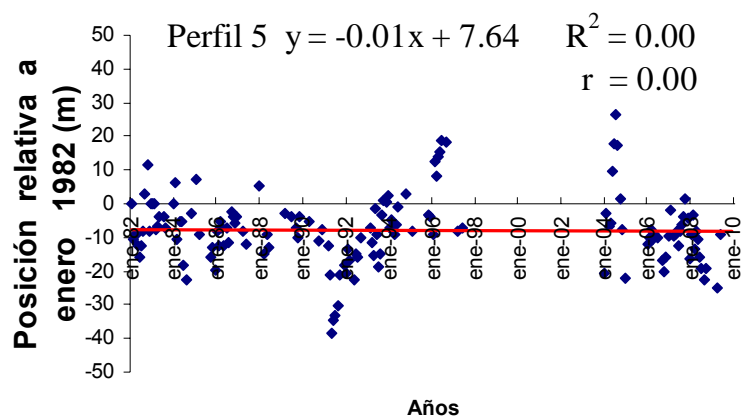


Figura 2. Variación en la posición de la línea de costa en relación a la medición inicial y línea de ajuste mediante regresión lineal. Los valores de P para cada regresión son: Perfil 5 0.918, Perfil 11 0.000, Perfil 16 0.000 y Perfil 21 0.002.

Figure 2. Shoreline position variations relative to the first measurement and trends estimated by a linear regression. P-values for each regression are as follows: Profile 5 0.918, Profile 11 0.000, Profile 16 0.000, and Profile 21 0.002.

Smith y Zarrillo (1990) consideran que no pueden medirse tasas de cambio a largo plazo a partir de mediciones de perfiles de playa, aun cuando se disponga de una serie larga de datos ya que las fluctuaciones a corto plazo de la playa pueden ser tan grandes como los cambios registrados en períodos de tiempo más largos. También en este trabajo se verifica, con los resultados de la regresión en los perfiles 11 y 16, que cuando el cambio total registrado es grande las fluctuaciones a corto plazo tienen menor influencia en la incertidumbre de las tendencias calculadas.

### Comportamiento de los volúmenes de arena de la playa emergida.

La regresión ajustada a las variaciones en los volúmenes de arena muestra los mejores ajustes en los perfiles 11 y 16 de acuerdo a los valores que toman los coeficientes  $R^2$  y  $r$  (Fig. 3). Entre un 50 y un 60% de la variabilidad de los datos es explicada por el modelo lineal. No obstante, la prueba de significación indica que las tendencias calculadas son significativas a un nivel del 1% en los perfiles 5, 11 y 16 y al 5% en el caso del perfil 21.

El perfil 16 es la única localidad que muestra una tendencia negativa en el comportamiento de los volúmenes de arena de la playa emergida, a un ritmo de 1.04  $m^3/m/año$  para un cambio total de  $-28 \pm 8 m^3/m$  (Tabla 7).

Tabla 7. Tasas de cambio anual a partir de las variaciones en los volúmenes de arena de la playa emergida ( $m^3/m/año$ ).

*Table 7. Annual change rate starting from the variations in sand volumes of the emerged beach ( $m^3/m/y$ ).*

Localidades	Tasa anual $m^3/m/año$	Error de estimación ( $m^3/m$ )	Cambio total ( $m^3/m$ )
Perfil 5	+ 0.91	13.3	+ 24.6
Perfil 11	+ 2.27	19.2	+ 59.0
Perfil 16	- 1.04	7.7	- 28.1
Perfil 21	+ 0.02	8.1	+ 0.5

Los perfiles 5 y 11 muestran tendencias positivas y, a partir de las tasas estimadas, pudo determinarse la ocurrencia de un incremento notable en los volúmenes de arena de la playa emergida en los últimos 27 años, con un saldo total de  $+25 \pm 13 m^3/m$  y  $+59 \pm 19 m^3/m$ , respectivamente.

Aunque el error de estimación es aparentemente elevado en todos los casos (Tabla 7), puede considerarse razonablemente aceptable por su cercanía a la incertidumbre total de las mediciones.

En el perfil 21 los volúmenes de arena de la playa emergida son en la actualidad muy similares a los que existían al iniciarse el monitoreo en el año 1982 sin embargo, la dinámica de la playa en este perfil está muy controlada por su posición junto a un dique semipermeable en la desembocadura del río Guanabo.

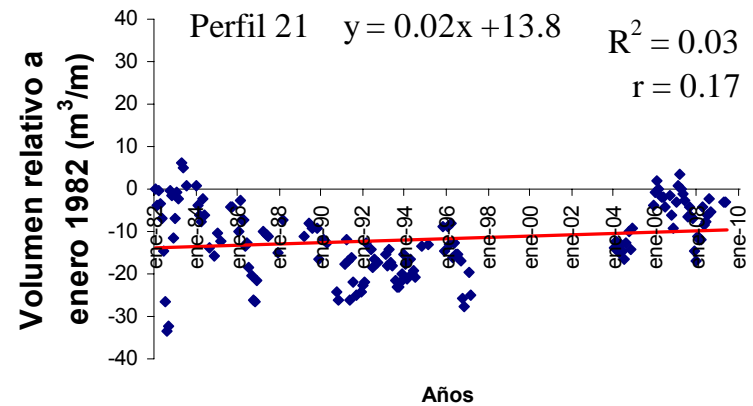
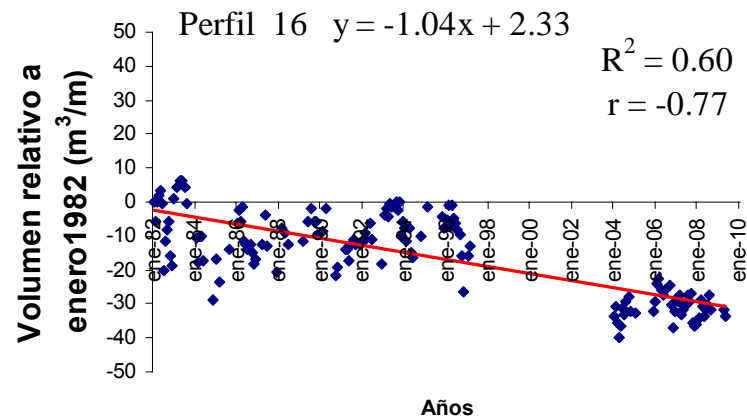
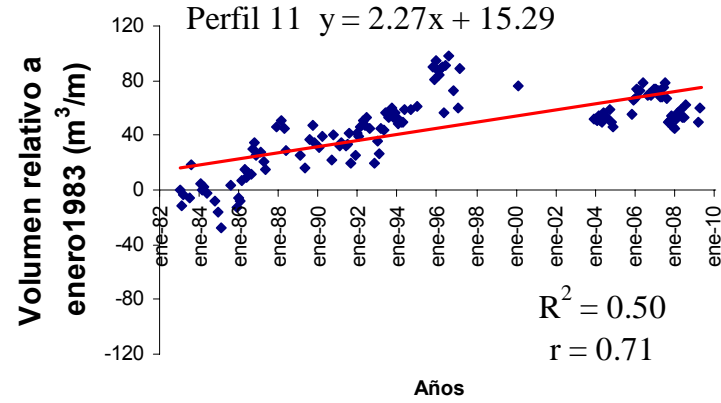
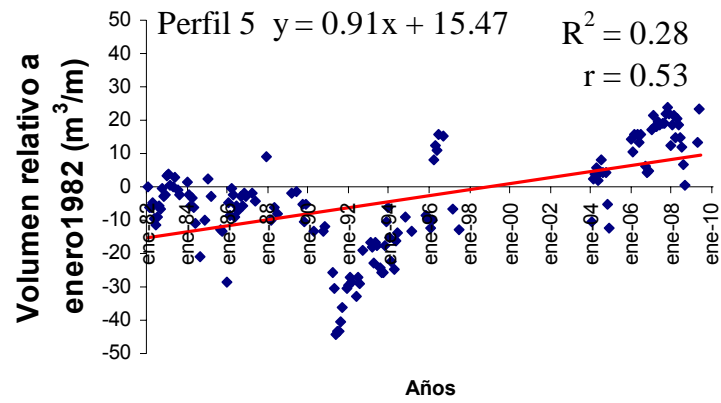


Figura 3. Variación en los volúmenes de arena de playa emergida en relación a la medición inicial y línea de ajuste mediante regresión lineal. Los valores de P para cada regresión son: Perfil 5: 0.000, Perfil 11: 0.000, Perfil 16: 0.000 y Perfil 21: 0.038.

Figure 3. Volumetric variations in relation the first measurement. P-values for each regression are as follows: Profile 5: 0.000, Profile 11: 0.000, Profile 16: 0.000 and Profile 21: 0.038.

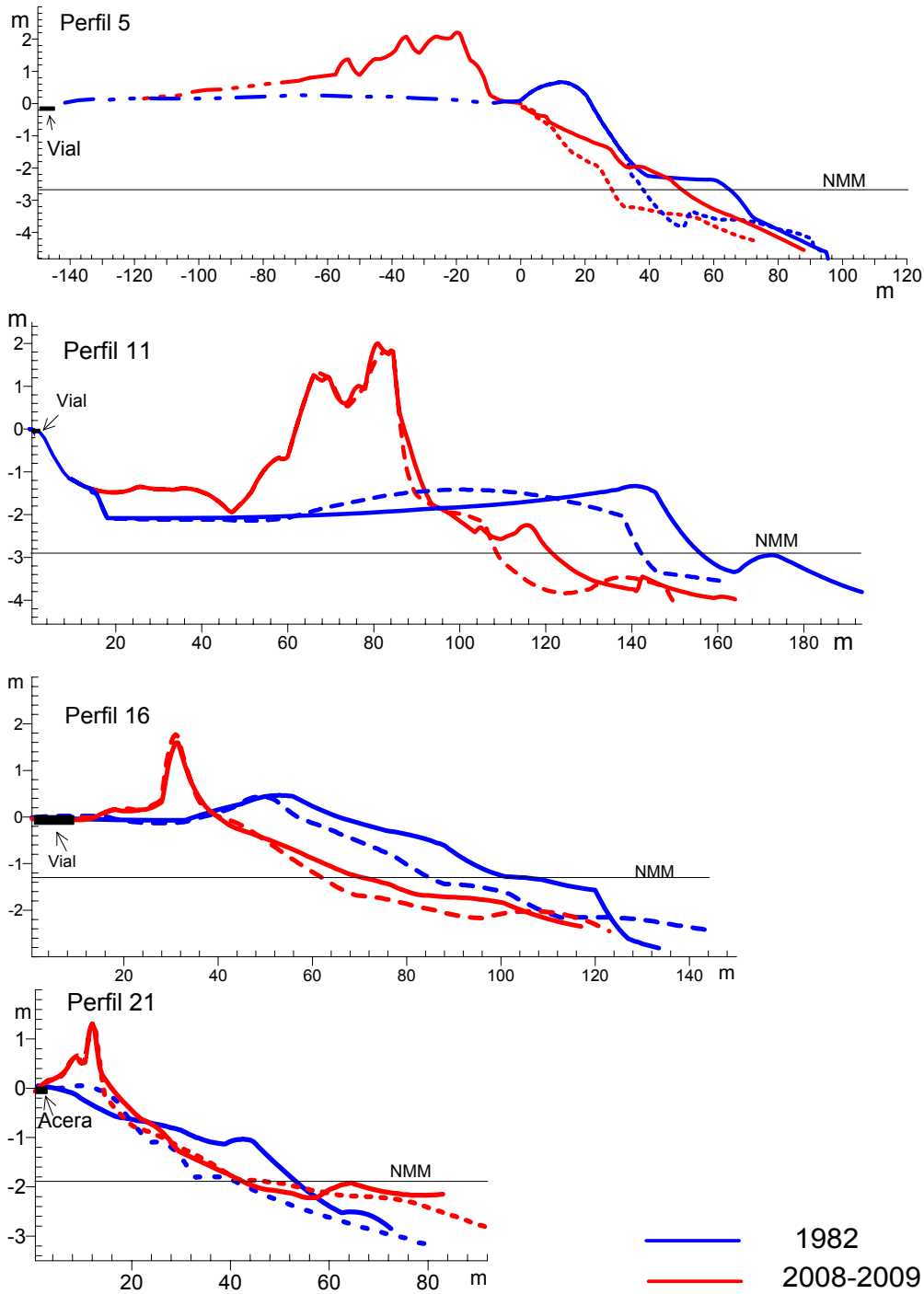


Figura 4. Cambios morfológicos en el perfil de playa en 27 años. La línea sólida corresponde a los máximos de acumulación y la discontinua a los máximos de erosión. En el perfil 11 las primeras mediciones corresponden al año 1983.

Figure 4. Morphological changes in 27 years. The solid line represents accumulation maxima and the dashed line erosion maxima. The first measurement in Profile 11 is 1983.



Este es el único caso donde el error de estimación es mayor (8 veces) que el cambio total estimado. La tasa estimada define la ocurrencia de un cambio total en  $+0.5 \pm 8 \text{ m}^3/\text{m}$  y por ello no es útil para realizar predicciones.

El desarrollo de potentes dunas explica el incremento de los volúmenes de la playa emergida registrado en los perfiles 5 y 11 en las últimas tres décadas (Fig. 4). Al mismo tiempo se ha producido un estrechamiento de la berma de la playa de intensidad variable en uno y otro.

Las tasas de cambio calculadas a partir de los datos de volúmenes de arena en estos perfiles tienen mayor magnitud que las tasas de cambio de las posiciones de la línea de costa. Es decir, los volúmenes de arena de las dunas, se han incrementado aceleradamente mientras la línea de costa ha retrocedido paulatinamente o ha cambiado poco de posición. Este comportamiento indica que, en estos años, las tasas de transporte eólico han sido superiores o iguales a las tasas de suministro de sedimento a la playa emergida. Un caso similar es descrito por Nickling and Davidson-Arnott (1990) en su análisis de escenarios para el desarrollo de las dunas litorales.

Si la cuantificación del balance de los sedimentos arrojara un déficit en los ingresos de sedimento al sistema de transporte litoral, entonces sucedería que con la reducción sostenida del ancho de playa se incrementaría la frecuencia de erosión de las dunas y el retroceso de la costa. No obstante, como aseguran Nordstrom y Gares (1990) si el volumen de sedimento de la duna es suficiente para alimentar el sistema en la zona cercana a la orilla durante el ataque de las olas de tormentas, entonces la erosión de la playa y el retroceso de la costa sería mínimo.

Los volúmenes de arena almacenados en las dunas de estas playas son estimados conservadores o mínimos del transporte eólico ya que el viento ha trasladado grandes cantidades de material de la playa hacia el interior, fuera del área de dunas, debido a la ausencia de una cobertura de vegetación eficiente en atrapar la arena en movimiento. Sosa *et. al.*, (2009) advierten que la intensidad y extensión de la erosión por el viento están debilitando la capacidad natural de recuperación de la playa e incrementando los riesgos de erosión.

La morfología de dunas fue un rasgo característico de este litoral antes de su urbanización (Fig. 5). Residentes del territorio refieren que la siembra de la casuarina fue antecedida por labores de buldoceo de la arena y aplanamiento del perfil de playa. Grandes volúmenes de sedimentos fueron lanzados hacia el mar donde fueron retenidos durante 20 años, ya que el bosque de casuarinas fue un verdadero impedimento para la formación de las dunas. A partir de la tala se reactivaron de los procesos eólicos y, la playa emergida ha ido evolucionando, posteriormente, hacia el restablecimiento de su morfología original.

Los resultados del perfil 11 reflejan, en particular, el proceso de la recuperación de la barra costera luego de su ruptura por inusuales precipitaciones, en junio de 1982, poco después de haber sido ejecutada la tala en este sector. En este sector los procesos eólicos se iniciaron luego de la formación de una extensa berma muy avanzada hacia el mar, que ha ido estrechándose con el crecimiento de las dunas.

El perfil 16, en la playa de Guanabo, muestra un retroceso de la línea de costa a un ritmo de  $-0.97 \text{ m/año}$  para un cambio total de  $-26 \pm 7 \text{ m}$ , acompañado de una disminución sostenida en los volúmenes de arena de la playa emergida ( $-1.04 \text{ m}^3/\text{m/año}$ ), con un saldo total de  $-28 \pm 8 \text{ m}^3/\text{m}$ . La combinación de factores naturales y antrópicos

como: limitado suministro de nuevo sedimento, impacto de algunas tormentas severas en la última década y una larga historia de intervención humana apuntan como causas de la situación de erosión de este sector de la playa.



Figura 5. Dunas estabilizadas en la playa de Santa María en el año 1935 (Archivo del MICONS).  
*Figure 5. Established dunes in Santa María Beach in 1935. (MICONS Archives).*

Teniendo en cuenta que no existe un patrón regular de erosión y acumulación a lo largo de la costa en estas playas (Sosa *et. al.*, 2009), resulta conveniente emprender nuevos estudios orientados a mejorar las tendencias calculadas para todo el litoral, incrementando la resolución espacial de las mediciones costeras.

## CONCLUSIONES

- En los últimos 27 años, Playas del Este ha evolucionado hacia la recuperación de la morfología de dunas que existía originalmente.
- La reactivación de los procesos eólicos fue inducida por la intervención del hombre con la eliminación del bosque de casuarinas.
- El sector de playa Guanabo representado por el perfil 16 ha mostrado una tendencia erosiva en el curso de las últimas tres décadas.
- La tasa de cambio anual de la línea de costa en el perfil 16 ha sido de  $-0.97$  m/año que ha establecido un retroceso de  $26 \pm 7$  m/m. El ritmo de pérdida de arena ha sido de  $1.04$  m<sup>3</sup>/m/año ocasionando una reducción en volumen de  $28 \pm 8$  m<sup>3</sup>/m.
- Las tendencias estimadas son de poca utilidad para realizar predicciones ya que reflejan específicamente la evolución de la playa a partir de una intervención humana, aun cuando tengan significado estadístico.



## BIBLIOGRAFÍA

- Crowell, M., Leatherman, S. P. y Buckley, M. K. 1991. Historical shoreline change: Error analysis and mapping accuracy. *J. of Coastal Res.*, 7(3): 839 - 852.
- Crowell, M., Douglas, B. C. y Leatherman, S. P. 1997. On forecasting future U.S. shoreline positions: a test of algorithms. *J. of Coastal Res.*, 13(4): 1245 - 1255.
- Dolan, R., Hayden, D. and Haywood, J. 1978. A new photogrametric method for determining shoreline erosion. *Coastal Engineering*, 2: 21 - 39.
- Dolan, R., Fenster, M.S., y Holme, S.J. 1991. Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *J. of Coastal Res.*, 7(3): 723 - 744.
- Douglas, B.C. y Crowell, M. 2000. Long-term shoreline position prediction and error propagation: *J. of Coastal Res.*, 16, págs. 145 -152.
- Douglas, B.C., Crowell, L. M. y Leatherman, S.P. 1998. Considerations for shoreline position prediction. *J. of Coastal Res.*, 14(3): 1025 - 1033.
- Fenster, M.S., Dolan, R., y Elder, J.F. 1993. A new method for predicting shoreline positions from historical data. *J. of Coastal Res.*, 9(1): 147 - 171.
- Galgano, F.A. y Douglas, B.C. 2000. Shoreline position prediction: methods and errors. *Environ. Geosciences*, 7(1): 23 - 30.
- Guerra García, R., Sosa Fernández, M. y L. Rivas Rodríguez. 2009. Evolución texturo-composicional de la arena de playas del Este de la Habana, Cuba. *Serie Oceanológica*, 6: 39 - 50.
- Hapke, C., Reid, D., Richmond, B., Ruggiero, P. y List, J. 2006. National Assessment of Shoreline Change, Part 3: *Historical Shoreline Change and Associated Land Loss Along Sandy Shorelines of the California Coast*. Santa Cruz, California: U.S. Geological Survey Open-file Report 2006-1219, 79 pp.
- Nickling, W.G. y Davidson-Arnott, R.G.D. 1990. Aeolian sediment transport on beaches and coastal sand dunes. *Proc. Can. Symp. on Coastal Sand Dunes*, págs. 1 - 35.
- Nordstrom, K.F. y Gares, P.A. 1990. Changes in the volumen of coastal dunes in New Jersey, USA. *Ocean and Shoreline Management*, (14): 1 - 10.
- Ocean Wave Statistics. 1988. Datos de oleaje.
- Servicio Hidrográfico y Geodésico de la República de Cuba, 2005. *Tablas de marea de las costas de Cuba. Mapa de Amplitud de la Marea en las costas Cubanas*. GEOCUBA, Edimar, Agencia de Cartografía Náutica. P5101. La Habana, Cuba, 10 pp.
- Short, A. D. 1980. Beach response to variations in breaker height. *Proceedings of the 17 th Intern. Coastal Eng. Conference ASCE/Sydney*, págs. 1016 - 1035.
- Smith, G. L. y Zarrillo, G. A. 1990. Calculating Long-Term Shoreline Recession Rates Using Aerial Photographic and Beach Profiling Techniques. *J. of Coastal Res.*, 6 (1): 111 - 120.
- Sosa M., Guerra, R., Felipe, M., Nievares, A. y Álvarez A. 2009. Seguimiento de los cambios morfológicos del sistema playa-duna en las Playas del Este. Caracterización de la flora. Informe inédito, Archivo Científico, Inst. de Oceanología. La Habana, Cuba.

Recibido: 16 de noviembre 2009

Aceptado: 2 de febrero 2010