

ARTICULO ORIGINAL

Monitoreo en un sector rehabilitado en las Playas del Este, La Habana, Cuba (2018-2019)Monitoring in a rehabilitated sector in Eastern Beaches,
Havana, Cuba (2018-2019)Lourdes Rivas-Rodríguez^{1*}Christian Fernández-Diez¹Yisset Caridad Rabeiro-Rodríguez¹Yasmany Almeida-Villegas¹Arian Castro-Reyes¹Adrián Niévares-Pérez¹Solvieg Rodríguez-Troche²Yessenia Ibáñez-Carbonell²¹ Instituto de Ciencias del Mar. Calle
Loma, entre 35 y 37, Alturas del
Vedado, municipio Plaza de la
Revolución, La Habana, Cuba.² Delegación Territorial del CITMA
de La Habana. Calle 17, No. 5008,
entre 50 y 52, municipio Playa, La
Habana, Cuba.Autor para correspondencia:
lourdesrivas1967@gmail.cu **OPEN ACCESS**Distribuido bajo:
Creative Commons Atribución-
NoComercial 4.0 Internacional
(CC BY-NC 4.0)Editor:
José M. Febles González
Universidad de La Habana.

Recibido: 17.09.2022

Aceptado: 09.03.2023

Resumen

En el año 2013, se ejecutó un proyecto de rehabilitación funcional de dunas en el frente costero del hotel Marazul, ubicado en Santa María del Mar, la cual pertenece a las Playas del Este de La Habana, Cuba. Con posterioridad, se destinó financiamiento para monitorear las dunas rehabilitadas. El objetivo del presente trabajo es mostrar los resultados de la última campaña, realizada entre junio de 2018 y abril de 2019, y su comparación con el monitoreo anterior. Los resultados obtenidos permitieron conocer que, entre el último monitoreo y el actual, este tramo costero se recuperó, logrando un ligero incremento del volumen de arena en las dunas ($\approx 45 \text{ m}^3$). Sin embargo, durante la presente investigación, se produjo una reducción del área de duna, afectándose fundamentalmente su cara frontal. El balance sedimentario fue negativo, con un egreso de $665,68 \text{ m}^3$ de sedimento y una tasa de retención de arena de $-2,37 \text{ m}^3/\text{m}/\text{año}$. Sin embargo, las dunas en ningún momento fueron sobrepasadas por el oleaje, cumpliendo con su función de protección costera, al impedir las penetraciones del mar, proteger las instalaciones ubicadas tras ellas y servir de reserva de arena a la playa. Se comprobó variaciones en el ancho de playa, tanto en el tiempo como a lo largo del sector objeto de estudio, así como una alta ocupación de la postplaya, lo que puede estar contribuyendo a la reducción del transporte de arena hacia las dunas.

Palabras clave: Frente costero del hotel Marazul, área rehabilitada, monitoreo, duna, postplaya.**Abstract**

A project of dunes functional rehabilitation was executed in the year 2013 in front of Marazul Hotel, Santa Maria del Mar, belonging to Havana's Eastern Beaches, Cuba. Some financing was allotted later on to monitor the rehabilitated dunes. The purpose of this work is showing the results of the last campaign, carried out between June 2018 and April 2019, as well as its comparison with the previous monitoring. The obtained results allowed us to know that, between the last monitoring and this one, the coastal

sector recovered, with a light increase of sand volume in the dunes ($\approx 45 \text{ m}^3$). However, there was a reduction of the dune area during the present research, mainly affecting its frontal face. The sedimentary balance was negative, with a loss of $665,68 \text{ m}^3$ of sediment and a rate of sand retention of $-2,37 \text{ m}^3/\text{m}/\text{year}$. However, the dunes were never surpassed by the waves, fulfilling with their task to protect the coastal, to prevent the sea penetrations, to protect the constructions behind them and to serve as a sand reserve to the beach. There were variations in the beach width, both in time and along the studied sector, as well as a high occupation of the backshore, which may be contributing to the reduction of the sand transportation toward the dunes.

Keywords: Coastal front at Marazul Hotel, rehabilitated area, monitoring, dune, backshore.

Introducción

El tramo costero ubicado frente al hotel Marazul, antiguo Tropicoco, mantuvo durante décadas un proceso erosivo (Sosa *et al.*, 2005; Sosa *et al.*, 2007; Sosa *et al.*, 2008), el cual se evidenciaba por la existencia de un área de dunas muy degradada. En una distancia de 240 m, la duna se interrumpía, dando lugar a la presencia de una llanura de deflación, en la cual se encontraban numerosos cocoteros y algunos arbustos de uva caleta (Sosa *et al.*, 2011).

En el sector oriental, de este tramo costero, la duna se había estabilizado, dada la presencia de una vegetación rastrera que la cubría, dentro de la cual predominaba el boniato de playa (*Ipomea pes-caprae*) y el mate de costa (*Canavalia rosea*). Sin embargo, se habían originado brechas y aberturas en su pendiente al mar, las cuales atentaban contra la estabilidad de este elemento del perfil de playa.

Con el objetivo de solucionar esta problemática, a mediados del año 2013 se ejecuta el proyecto: “Rehabilitación funcional de las dunas en un sector de la playa de Santa María del Mar, al Este de La Habana” (Sosa *et al.*, 2011).

Se tomó como zona de préstamo la arena existente dentro del área del proyecto, lográndose la reconstrucción de la duna a lo largo de 280 m, con el reacomodo de un volumen de arena aproximado de $8\,846,5 \text{ m}^3$ (Sosa *et al.*, 2013). Las principales acciones logradas fueron: creación de dunas en los tramos donde esta no existía y el cierre de las brechas y aberturas presentes en el sector más oriental de la zona de trabajo, lo que permitió el fortalecimiento de su cara frontal, contribuyendo a la estabilización de la misma.

Teniendo en cuenta la importancia de las dunas rehabilitadas, la Delegación Provincial del CITMA de La Habana, Cuba, destina fondos para su monitoreo. El objetivo del presente trabajo es mostrar los resultados de la última campaña, correspondiente a 11 meses, ejecutado entre junio de 2018 y abril de 2019, y la comparación de los mismos con los obtenidos en el monitoreo anterior.

Materiales y métodos

Las Playas del Este de La Habana se encuentran ubicadas en la ensenada de Sibarimar, a 12 Km al ENE de la boca de la bahía de la Habana. A ellas pertenece la playa de Santa María del Mar, en la cual se encuentra situado el frente costero del hotel Marazul, objeto de estudio del presente trabajo (Fig. 1), tiene una longitud aproximada de 280 m y se encuentra delimitado por las coordenadas: $23^\circ 10' 36.7'' \text{ N}$ y $82^\circ 11' 23.2'' \text{ W}$ al Oeste y $23^\circ 10' 34.7'' \text{ N}$ y $82^\circ 11' 11.6'' \text{ W}$ al Este.

Se llevó a cabo una relación de los eventos meteorológicos que ocurrieron durante el período de monitoreo y se determina cuáles fueron las principales transformaciones que estos produjeron en ese tramo del litoral de las Playas del Este.

Las acciones de campo concebidas durante la presente investigación se dividieron fundamentalmente en dos:

El levantamiento topográfico de la zona de trabajo, el cual incluyó la duna rehabilitada, la postplaya y parte de la postduna, así como la medición de la línea de costa. Estos levantamientos se realizaron dos veces en el

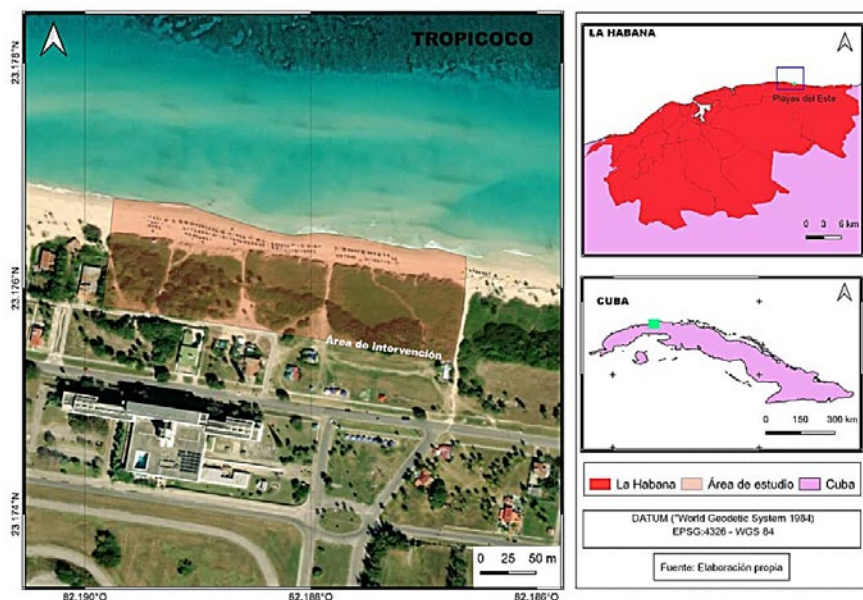


Fig. 1. Ubicación geográfica del área de estudio

año. El primero de ellos en noviembre de 2018 y el segundo en abril de 2019.

Mediciones de 4 perfiles topográficos (perfiles de playa), los cuales se miden perpendiculares a la costa, con una frecuencia trimestral, en los meses de junio, septiembre y diciembre de 2018 y marzo de 2019.

El levantamiento topográfico se realizó a lo largo de todo el sector de trabajo, a partir de una línea base conformada por seis puntos topográficos. Dos de ellos (PV1 y Tropicoco) amarrados a la Red Geodésica Nacional y los cuatro restantes, constituían cuatro estacas pintadas, ubicadas sobre la duna (Fig. 2), tomando como referencias los dos puntos anteriores.

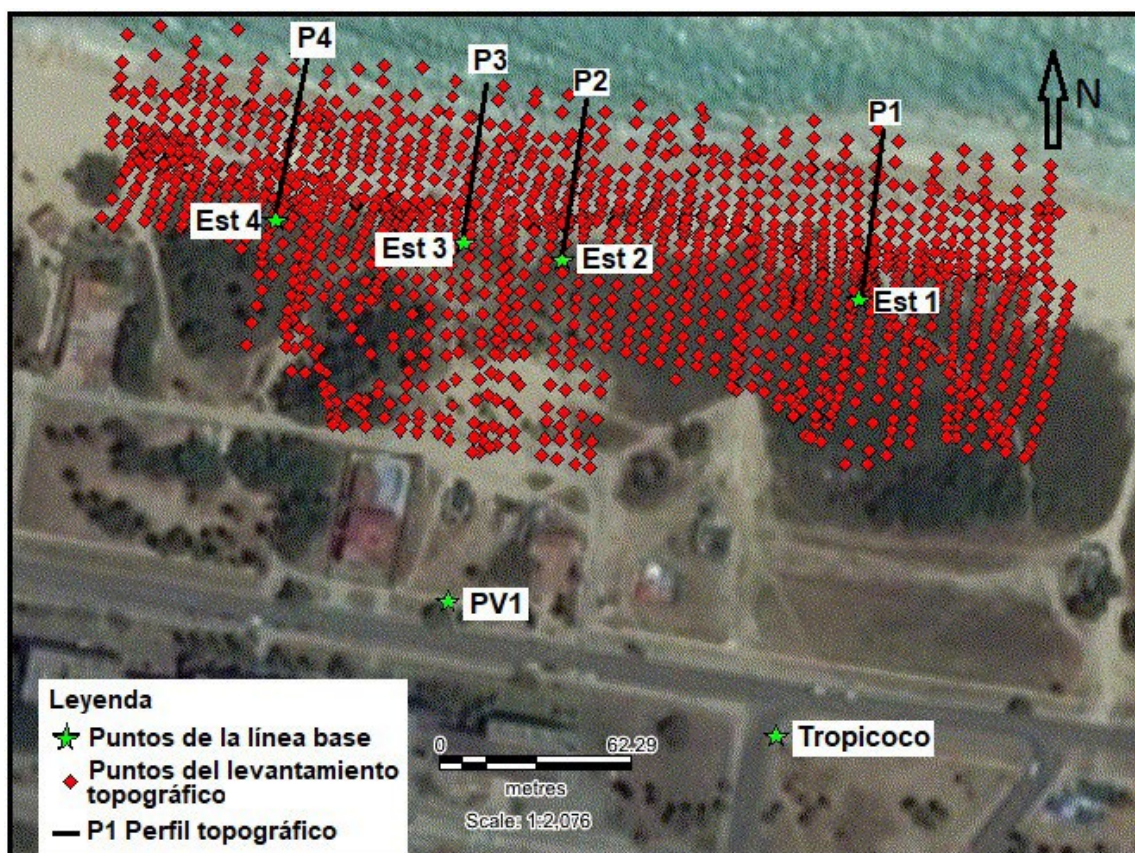


Fig. 2. Ubicación de los perfiles de playa, la línea base y los puntos del levantamiento topográfico

A partir de la misma se realizaron las mediciones topográficas siguiendo transectos perpendiculares a la costa a intervalos de 5 m en la duna, postplaya y postduna, las cuales fueron complementadas con mediciones aisladas cubriendo las irregularidades del terreno para buscar una mayor densidad de puntos. Además, se realizó el levantamiento de la zona sumergida de la playa, próxima a la orilla, a profundidades entre 0,8 y 1 m, distanciados a 10 m uno de otro.

El último trabajo realizado en el área de estudio antes del actual monitoreo, fue en octubre de 2017, tras el paso del huracán Irma por la región occidental de Cuba, durante el cual se midieron los cuatro perfiles topográficos. Con el objetivo de conocer como había evolucionado este litoral durante los 8 meses en que no se monitoreó, el primer análisis del presente estudio está dirigido a comparar los resultados anteriores con los primeros de la actual investigación.

Todas las mediciones se realizaron con una Estación Total modelo TC 805, siendo empleado el software Leica Geo Office para el procesamiento primario de esta información.

La amplitud de la postplaya, conocida también como área de playa emergida o área de sol, se calculó desde el pie al mar de la duna, hasta la línea de costa, tomando como indicador para la medición de esta última, el punto de inflexión.

Para el procesamiento de los datos del levantamiento topográfico y su representación cartográfica se hizo uso de Qgis versión 3.6 y se adoptó la proyección Cónica Conforme de Lambert y el Sistema de Coordenadas Planas Rectangulares Cuba Norte, Datum NAD 27 Cuba. El cálculo de los volúmenes de arena se realizó mediante el empleo de SAGA- Gis versión 7.2. Para el procesamiento de los perfiles se empleó el CEDAS, versión 4.03.

Como documentación de apoyo para la labor cartográfica, se utilizaron imágenes de satélite, tomadas del software libre, SASPlanet. Además, se tomaron fotos para poder mostrar el comportamiento y estado del sector rehabilitado.

Resultados

Comparación de los resultados obtenidos en el monitoreo anterior con los del actual

Durante el paso del huracán Irma, este sector costero experimentó cambios, con transformaciones del perfil de playa, las cuales eran mucho más evidentes en la cara frontal de la duna y la postplaya. El oleaje extremo provocado por dicho fenómeno meteorológico alcanzó las dunas, originando escarpes de erosión de alturas entre 1 y 1,5 m y un retroceso de su pie al mar que osciló entre 3 y 5 m. La pérdida de volumen de arena en las dunas fue de aproximadamente 338 m³ de arena, siendo arrasada la única duna embrionaria existente, la cual se ubicaba en el tramo más occidental de este sector costero (Rivas *et al.* 2017).

Las figuras de la 3 a la 6 muestran el comportamiento de los cuatro perfiles medidos en octubre del año 2017 y junio de 2018.

Sobre la base de que los perfiles son representativos de las áreas aledañas en las cuales se ubican y que estos están distribuidos de manera tal que cubren toda la zona de estudio, se valoró, a partir de ellos, el comportamiento de los volúmenes de arena, entre los meses de octubre del 2017 y junio de 2018. Se pudo comprobar que, durante dicho período, en las dunas rehabilitadas del frente costero del hotel Marazul ocurrió una ganancia de 44, 991 m³ (≈ 45 m³) de arena.

La superposición de los perfiles permitió además apreciar el comportamiento del ancho de playa (Tabla 1).

Tabla 1. Ancho de playa (m) en octubre de 2017 y junio de 2018

Perfil	Fechas en que se monitoreó		Diferencia del ancho de playa de junio de 2018 respecto a octubre de 2017
	Octubre/2017	Junio/2018	
1	26	18	-8
2	23	24	1
3	21	27	6
4	25	20	-5

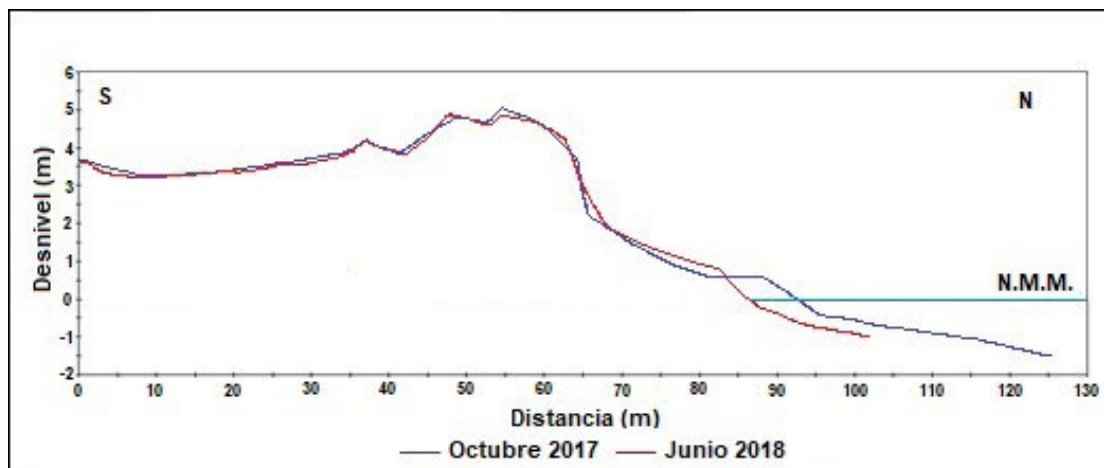


Fig. 3. Cambios morfológicos ocurridos en el perfil 1, entre octubre de 2017 y junio de 2018

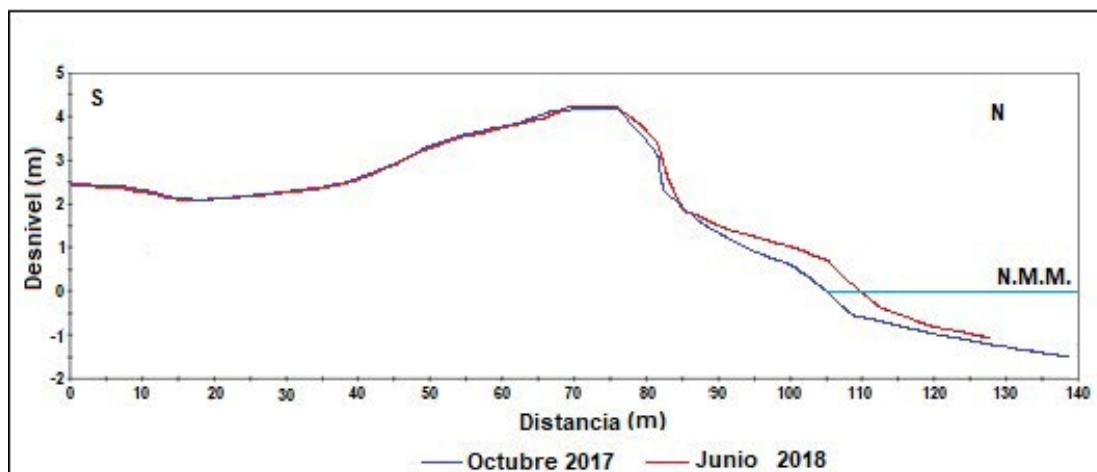


Fig. 4. Comportamiento del perfil 2 en los meses de octubre de 2017 y junio de 2018

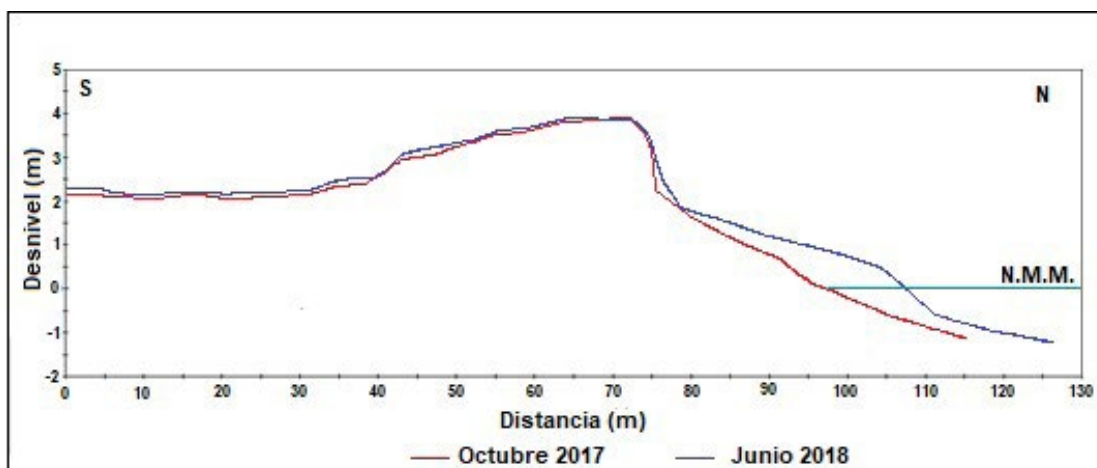


Fig. 5. Cambios morfológicos ocurridos en el perfil 3, entre octubre de 2017 y junio de 2018

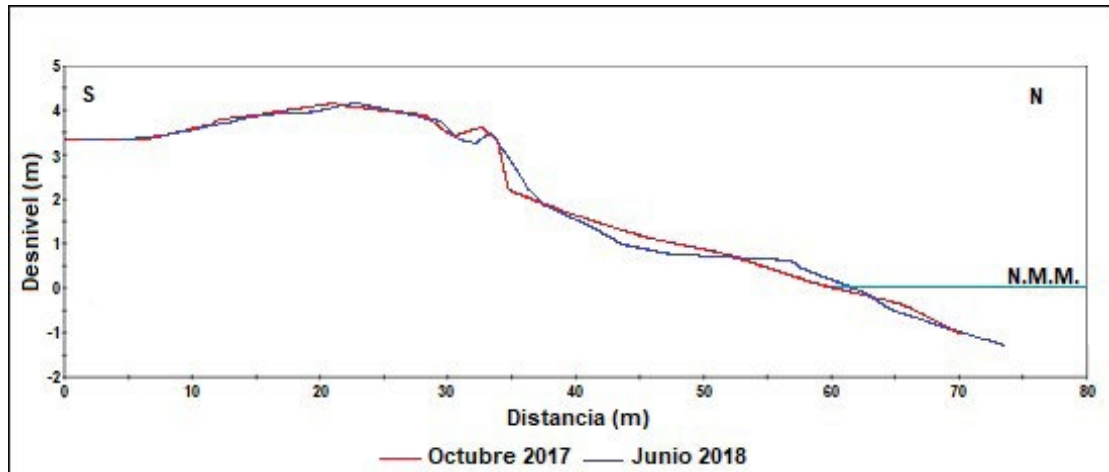


Fig. 6. Comportamiento del perfil 4 en los meses de octubre de 2017 y junio de 2018

Principales eventos meteorológicos ocurridos durante el período de monitoreo

Durante el período de monitoreo varios fenómenos meteorológicos afectaron el área de estudio. A continuación, se citan algunos de ellos, por ser los que provocaron las mayores transformaciones en este sector costero.

Durante los días 10 y 11 de septiembre de 2018 se produjo la ocurrencia de una **onda tropical** en los mares al Sur del archipiélago cubano, la cual originó una zona de bajas presiones en el Caribe Occidental, que al interactuar con una vaguada de niveles medios, sobre el Sudeste del golfo de México, provocó la ocurrencia de un tiempo severo, con fuertes oleajes (www.insmet.cu).

Huracán Michael (7 -16 de octubre de 2018)

Este evento meteorológico se convirtió en huracán categoría uno, según la escala Saffir Simpson, al final de la mañana del día 8 de octubre, cuando se encontraba a 80 kilómetros del punto más occidental de Cuba, el Cabo de San Antonio, en la provincia de Pinar del Río (www.insmet.cu).

Frentes fríos de la temporada invernal 2018-2019

Durante la temporada invernal 2018 - 2019 se produjo en Cuba la ocurrencia de un total de **18 frentes fríos** (www.insmet.cu), los cuales provocaron, en mayor o menor medida, erosión en el área de estudio.

Frente frío # 7 de la temporada invernal 2018-2019

Este frente frío fue catalogado como clásico y moderado, llegó al occidente de Cuba en horas de la madrugada del día **21 de diciembre de 2018**. Tras su entrada se impusieron vientos persistentes de región Noroeste entre 25 y 40 km/h, con rachas superiores a los 60 km/h, responsables de las fuertes marejadas con olas entre 4,5 y 5,0 metros de altura, que generaron ascensos del nivel del mar de alrededor de 1,5 metros en zonas de la costa Norte, desde Pinar del Río hasta Mayabeque (www.insmet.cu).

Comportamiento de los perfiles de playa durante el presente monitoreo

Las figuras de la 7 a la 10 brindan información sobre el comportamiento de los cuatro perfiles de playa

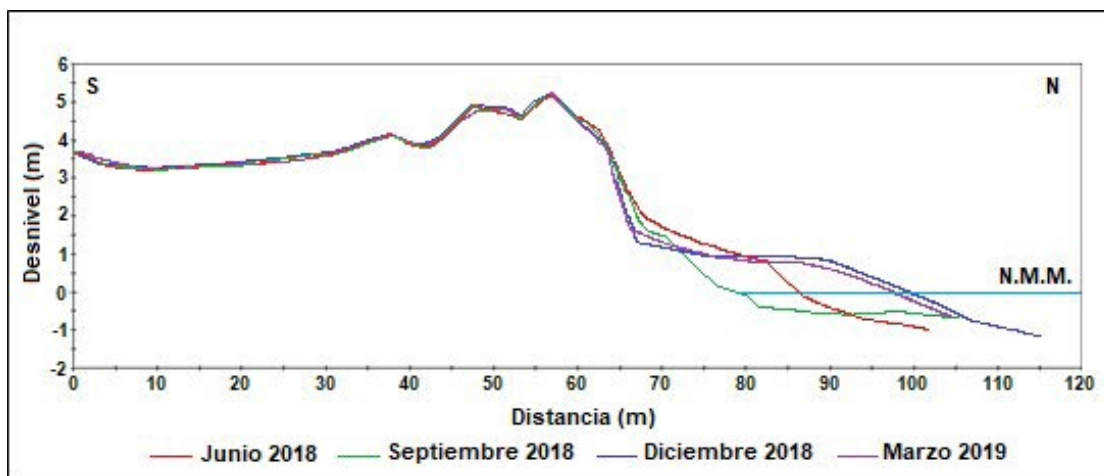


Fig. 7. Cambios ocurridos en el perfil 1 durante el monitoreo realizado

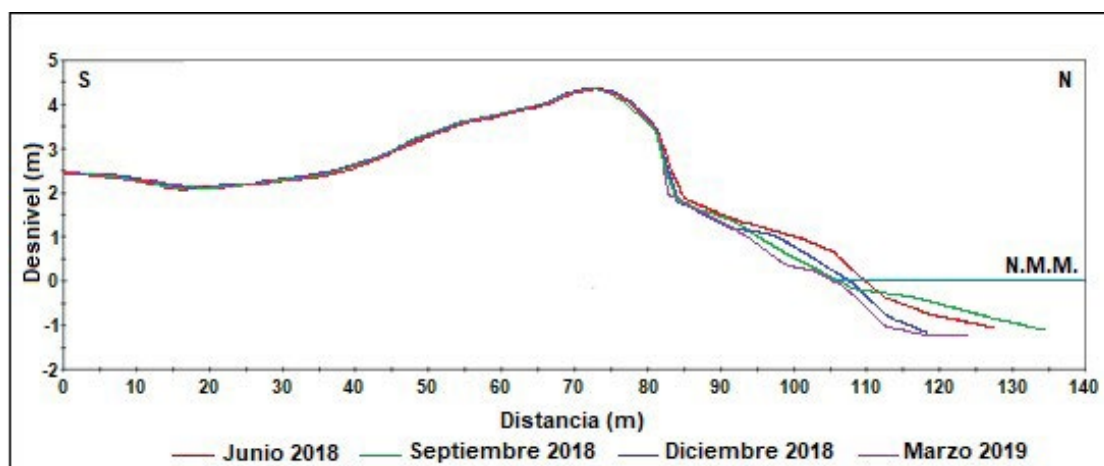


Fig. 8. Transformaciones experimentadas por el perfil 2 en los cuatro meses monitoreados

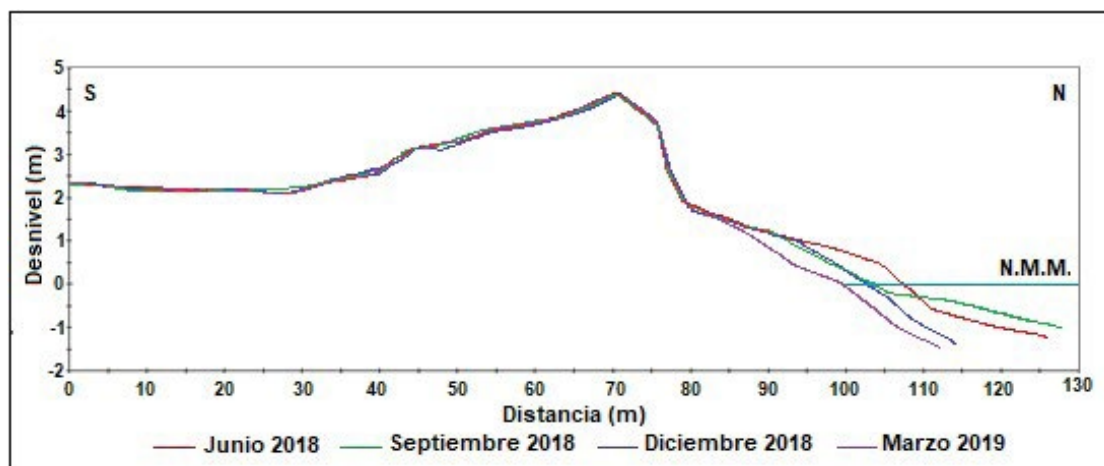


Fig. 9. Cambios morfológicos ocurridos en el perfil 3 durante la ejecución del monitoreo

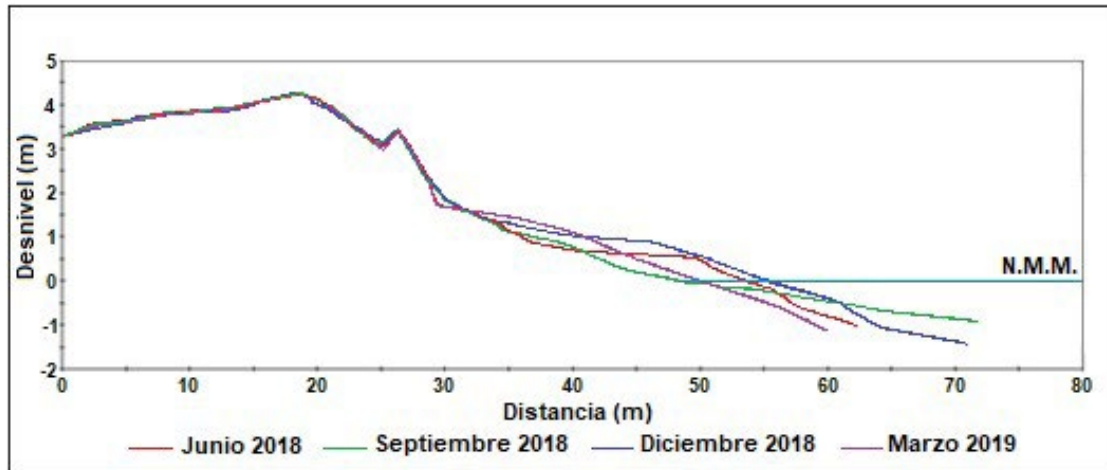


Fig. 10. Variaciones ocurridas en el perfil 4 en los meses monitoreados

medidos en el sector rehabilitado, durante las mediciones realizadas en el presente trabajo.

Resulta lamentable que la planificación de los monitoreos, no coincidiera estrictamente con el paso de los principales fenómenos meteorológicos que afectaron el área de estudio. Solo durante el monitoreo ejecutado en septiembre de 2018 se realizaron mediciones topográficas que permitieron registrar los cambios inmediatos ocurridos en este tramo del litoral, luego del paso de la onda tropical producida en septiembre de 2018. Este evento meteorológico no provocó cambios significativos en la morfología de la duna, originando escarpes de erosión en área de la postplaya próximos a la línea de costa, con alturas entre 1 y 1,5 m (Fig. 11).



Fig. 11. Escarpe en las proximidades de la línea costera en el sector Este (11 de septiembre de 2018)



Figs. 12 y 13. Afloramientos de calcarenita en la postplaya y la anteplaya originados por la Onda tropical de septiembre de 2018

Además, ocasionó afloramiento de la calcarenita tanto en la postplaya como la anteplaya (Figuras 12 y 13). La erosión resultó más intensa en el extremo oriental del



Fig. 14. Estado del sector más oriental de área de estudio provocado por el huracán Michael

tramo costero situado frente al hotel Marazul, donde está ubicado el perfil 1.

No obstante, recorridos realizados por el área de estudio inmediatamente después de la ocurrencia del resto de los fenómenos meteorológicos citados con anterioridad, permitieron contar con imágenes gráficas y



Figs. 15 y 16. Sector central antes y después del frente frío # 7.

mediciones *ínsitu* de las principales transformaciones sufridas en este sector costero.

El intenso oleaje asociado al huracán Michael llegó hasta el pie de las dunas rehabilitadas en el frente costero del hotel Marazul, provocando erosión en el mismo. Se observó afloramiento de la calcarenita en varios tramos, la cual se extendía en todo el extremo Este del sector rehabilitado (Fig. 14), siendo este el tramo más afectado, con escarpes de erosión que llegaron a alturas de hasta 2 m aproximadamente y un retroceso del pie al mar de la duna entre 1 y 1,5 m.

Las figuras 15 y 16 muestran el estado del sector central del área de estudio, la mañana antes y con posterioridad a la ocurrencia del séptimo frente frío de la temporada invernal 2018-2019. Las figuras 22 y 23 reflejan la situación de los extremos de este litoral luego del paso de dicho evento. Se formaron escarpes de erosión en la duna, los cuales promediaban en el sector central 1 m de altura, alcanzando una mayor elevación hacia los extremos de la playa.

A diferencia de lo ocurrido en otros municipios del litoral habanero, en este tramo costero no ocurrieron penetraciones del mar asociadas a dicho evento dada la presencia de las dunas rehabilitadas.

Los principales indicios de erosión originados por los restantes (17) frentes fríos de la temporada invernal 2018-2019 fueron: afloramiento de la calcarenita en la



Fig. 17. Afloramiento de calcarenita en la cara frontal de la duna provocado por un frente frío

Tabla 2. Comportamiento de los volúmenes de arena por perfiles (en m³). Xi y Xf = distancias inicial y final, empleadas para el cálculo; Yi y Yf = desniveles inicial y final.

Perfil	Xi-Xf	Yi-Yf	Meses				Diferencia Junio/2018 – Marzo/2019
			Junio (2018)	Septiembre (2018)	Diciembre (2018)	Marzo (2019)	
1	0 y 100	-2 y 5,5	471,429	457,074	484,845	478,603	7,174
2	0 y 110	-2 y 4,7	497,704	490,786	488,841	487,133	-10,571
3	0 y 110	-2 y 4,7	479,117	472,909	469,549	460,328	-18,789
4	0 y 55	-2 y 4,5	236,43	232,170	241,546	236,328	-0,102



Fig. 18. Escarpe de erosión en las proximidades de la anteplaya originado por un frente frío

cara frontal de la duna (Fig. 17) y en la zona de postplaya, persistencia de los escarpes en la pendiente al mar de la duna y aparición de otros en áreas cercanas a la anteplaya (Fig. 18).

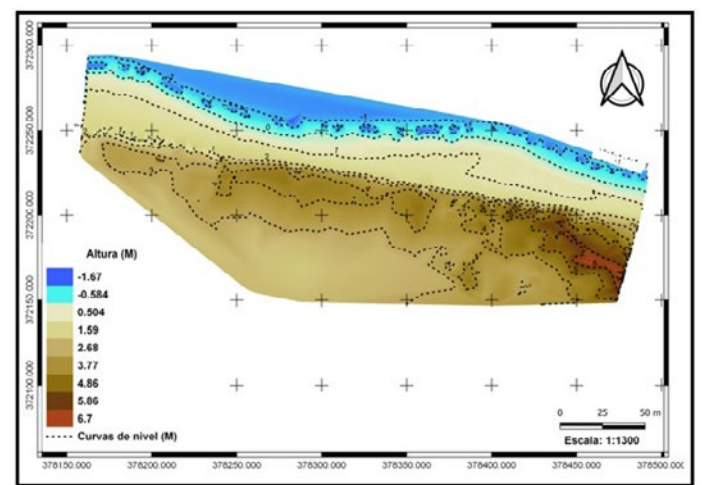
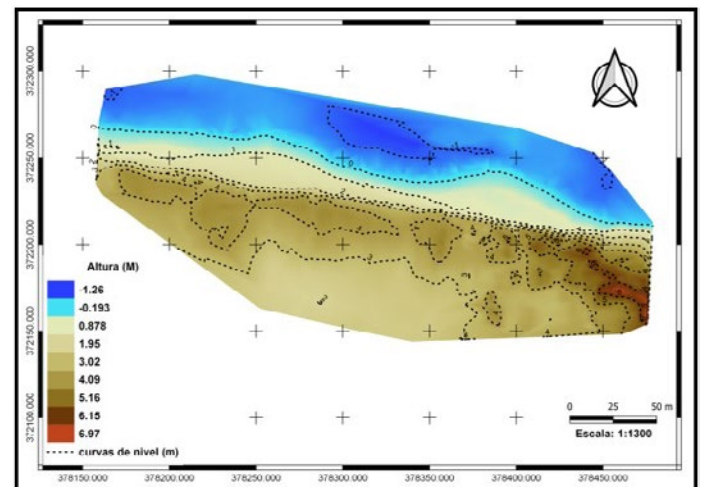
Comportamiento de los volúmenes de arena

La tabla 2 refleja la variación de los volúmenes de arena para cada perfil, durante los cuatro meses monitoreados, resaltándose la diferencia entre los meses de junio de 2018 y marzo de 2019, que corresponden con el inicio y el final del monitoreo.

Al comparar las mallas topográficas de los levantamientos realizados en los meses de noviembre del 2018 y abril de 2019 (Figs. 19 y 20), se comprobó que durante el período de monitoreo, en las dunas rehabilitadas del sector costero frente al hotel Marazul ocurrió una pérdida de 665,68 m³ de arena, para una tasa de retención de -2,37 m³/m/año.

Comportamiento del ancho de playa emergida

La figura 21 muestra los valores obtenidos por el ancho de playa emergida en cada uno de los



Figs. 19 y 20. Mallas topográficas correspondientes a noviembre 2018 y abril de 2019, respectivamente.

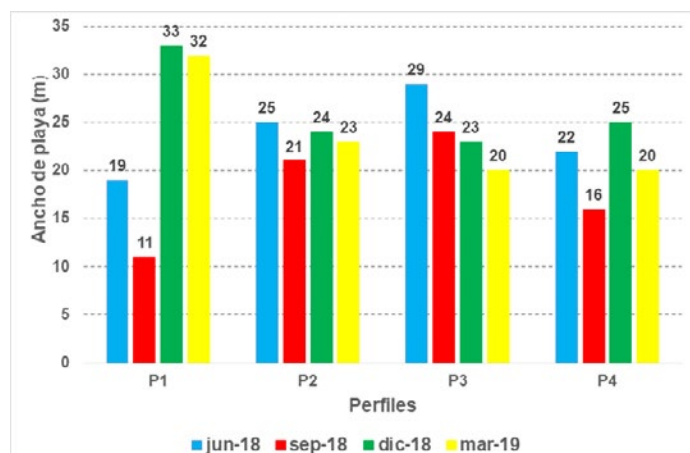


Fig. 21. Comportamiento del ancho de playa emergida, por perfiles, en el período monitoreado

perfiles durante los cuatro meses en que fueron medidos.

Acciones antrópicas que provocan afectaciones en el sector costero rehabilitado

Durante el paso de los fenómenos meteorológicos que afectaron el área de trabajo, en el período de monitoreo, los tres accesos existentes en el mismo quedaron prácticamente destruidos, siendo más crítica la situación en sus extremos hacia el mar. A modo de ejemplo se muestran las figuras 22 y 23, correspondientes a dos de dichos accesos.

Ante tal situación, se imposibilitó el empleo de las pasarelas para acceder a la postplaya, por lo que los bañistas comenzaron a descender por los laterales de las mismas (Fig. 24), creándose a ambos lados de esas estructuras, amplias zanjas, que se adentraban hacia tierra.

Como resultado del paso constante de la gran afluencia de público durante el verano, dichas zanjas se ampliaron y avanzaron hacia zonas interiores. La situación más crítica se presentó en la pasarela del Este, ya que dada su ubicación es la más empleada por los visitantes de la playa, sobre todo los que de forma masiva hacen uso del transporte público.



Figs. 22 y 23. Salida al mar de las pasarelas del Este y central, respectivamente, en abril de 2019

Durante la ejecución del presente monitoreo se comprobó una alta ocupación de la postplaya, dada fundamentalmente por la presencia de un número elevado de mobiliario de playa (tumbonas y sombrillas desmontables) (Fig. 25).



Fig. 24. Tránsito de personas por los laterales de la pasarela central dado el pésimo estado constructivo de la misma



Fig. 25. Alta ocupación de la postplaya

Además, se pudo conocer que, durante las horas nocturnas, tanto el mobiliario de playa (específicamente tumbonas), como los equipos náuticos, se ubican en zona de postplaya, muy próximos al pie al mar de la duna. Estos últimos se mantienen en dichos sitios durante todo el día, en espera de ser utilizados por los turistas que disfrutan de la playa, ocupando en ocasiones gran parte de la postplaya (Fig. 26).

El número de hileras de tumbonas depende del ancho de playa existente, pero con independencia de ello, la más inmediata a tierra se ubica muy cerca del pie delantero de la duna, mientras que la más próxima al mar se sitúa prácticamente en la misma línea de costa.



Fig. 26. Equipos náuticos ocupando el área de la postplaya



Fig. 27. Mobiliario de playa sin usuarios que lo utilicen

Lo más frecuente es observar tres hileras de mobiliario de playa. Sin embargo, cuando la postplaya es mayor se coloca una cuarta e incluso hasta una quinta línea.

Durante las primeras horas de la mañana, cuando ya se ha ubicado dicho mobiliario, muchas sombrillas y tumbonas se mantienen desocupadas (Fig. 27). Situación que se extiende a la mayor parte del día en períodos fuera de la temporada veraniega.

Discusión

Comparación de los resultados obtenidos en el monitoreo anterior con los del actual

Con posterioridad al paso del huracán Irma, en el período comprendido entre octubre de 2017 y junio de 2018, el frente costero del hotel Marazul mostró cierta recuperación de la duna, aunque fue mucho menor que la observada en el sector de dunas rehabilitadas en la playa Boca Ciega, la cual también forma parte de las llamadas Playas del Este de la Habana, cuya ganancia ascendió a 2 549 m³ de arena (Rivas *et al.*, 2019).

Si bien es cierto que en el sector costero que nos ocupa se observó un incremento del volumen de sedimento en las dunas ($\approx 45 \text{ m}^3$) durante dicho período, este solo representó, aproximadamente el 13 % del

monto total de arena perdida en las dunas, durante el paso del huracán Irma que fue de 338 m³ de sedimento. Esta ganancia de volumen de sedimento se limitó a la cara frontal de la duna, sin que alcanzara la parte alta de la misma, por lo que no se observó crecimiento vertical de la duna.

A diferencia de lo ocurrido en la playa Boca Ciega, en el frente costero del hotel Marazul no se formaron dunas embrionarias en el período en que no se monitoreó y la recuperación del frente de dunas fue mucho menor que el alcanzado por el sector costero con que se compara.

Comportamiento de los perfiles de playa

Se pudo comprobar que, en junio de 2018, en el sector más oriental del área de estudio, donde está ubicado el perfil 1 (Fig. 3), los escarpes originados por el huracán Irma en el frente de dunas se habían suavizado, pero se mantenían las aberturas existentes en esa zona, mostrando una postplaya más estrecha y con mayor pendiente.

En el resto de los perfiles (Figs. 4, 5 y 6) se aprecia, cierta recuperación de la cara frontal de la duna, en junio de 2018, respecto a octubre de 2017. De forma general se observan escarpes menos pronunciados. En los perfiles 2 y 3 se aprecia una postplaya más alta y en este último, incluso más alargada.

Ancho de playa emergida

Por su parte, los resultados mostrados en la tabla 1, permitieron comprobar que el ancho de playa existente a inicios del actual monitoreo, respecto a octubre de 2017, era inferior hacia los extremos del área de estudio, observándose hacia su parte central, donde se ubican los perfiles 2 y 3, un incremento de la misma, la cual era superior en este último perfil.

Dicho comportamiento difiere de lo observado en investigaciones anteriores (Sosa *et al.*, 2015; Rivas *et al.*, 2017), en las cuales se registró un estrechamiento de la postplaya en el sector central de este tramo costero, respecto al existente en los extremos del mismo.

Según Sosa *et al.* (2011), este comportamiento no está asociado con la orientación de la línea de costa, ni a las características del oleaje, que dependen de la velocidad del viento y la dinámica de la zona, la cual no se ajusta a las variaciones estacionales, sino a cambios oscilantes de erosión – acumulación que están asociados a la reubicación del sedimento por el transporte longitudinal.

Comportamiento de los perfiles de playa durante el presente monitoreo

La superposición de los perfiles medidos (Figs. 7 a 10) durante el monitoreo, permitió comprobar que los principales cambios morfológicos se produjeron en la cara frontal de la duna, permaneciendo invariable la zona alta y la pendiente trasera de la misma, áreas que se encuentran estabilizadas por la presencia de una densa cobertura vegetal, que contribuye a fijar el sedimento. Esto provocó que no se produjera el crecimiento vertical de la duna como estaba concebido en el proyecto ejecutivo. También se apreciaron variaciones en cuanto al ancho y altura de la postplaya.

En los perfiles 1 y 4, ubicados en los extremos de este litoral, los mayores cambios morfológicos se apreciaron entre los meses de septiembre y diciembre de 2018, como resultado fundamentalmente del paso de la onda extratropical (sept/2018) y el huracán Michael (Oct/2018). En los perfiles 2 y 3 las variaciones morfológicas más marcadas se observaron entre el inicio (junio/2018) y final del monitoreo (marzo/2019) ocurriendo una fluctuación de cambios en su morfología como respuesta a los diferentes eventos meteorológicos que ocurrieron durante el período monitoreado.

Las variaciones morfológicas más significativas se observaron en el perfil 1, entre los meses de septiembre y diciembre de 2018, apreciándose una diferencia en la longitud del ancho de playa emergida de aproximadamente 22 m. En los perfiles restantes esa diferencia no excedía los 7 m.

La postplaya existente en el perfil 1 en el mes de septiembre era estrecha y con una pendiente abrupta, mientras que en diciembre presentaba una pendiente más suave, así como una mayor longitud y altura, como resultado del incremento del volumen de arena registrado en este perfil.

Comportamiento de los volúmenes de arena

El análisis de la tabla 2, permite conocer que al final del período monitoreado, con excepción del perfil 1, en el resto de ellos ocurre pérdida de sedimento, registrándose las mayores diferencias en los perfiles 2 y 3, ubicados en el sector central, los cuales sufren una disminución progresiva del volumen de arena de un mes a otro, durante los cuatro meses muestreados.

Entre octubre de 2017 y junio de 2018 se apreció una ligera recuperación de la duna, con la ganancia de aproximadamente 45 m³ de arena. Sin embargo, en el período comprendido entre noviembre de 2018 y abril de 2019, que corresponde a los levantamientos del actual monitoreo, el balance sedimentario en las dunas volvió a ser negativo, con la pérdida de 665, 68 m³ de arena.

Las cifras anteriores permiten afirmar que los eventos meteorológicos que han afectado el tramo costero, objeto de estudio, han venido provocado pérdidas de sedimento, que a corto plazo no se han podido recuperar.

La tasa de retención de arena en la duna en este año de monitoreo ha sido de -2,37 m³/m/año, la cual resulta inferior a los 3,2 m³/m/año reportados por Sosa *et al.* (2015), en la primera campaña de monitoreo y menor aún al ritmo promedio de 4,5 m³/m/año, estimado a partir de las mediciones realizadas por el Instituto de Ciencias del Mar, antiguo Instituto de Oceanología, como parte del monitoreo de la playa, llevado a cabo entre los años 2004 y 2008 (Sosa *et al.*, 2011).

Los datos anteriores demuestran como en el área de trabajo, la tasa de retención de arena en las dunas ha ido disminuyendo desde el período de 2004-2008 hasta la actualidad, lo que indican un continuo proceso erosivo.

Comportamiento del ancho de playa emergida

Al observar la figura 21 se puede verificar como en todos los perfiles ocurrió una reducción del ancho de playa durante el mes de septiembre, como resultado de la onda tropical que originó una zona de bajas presiones en el Caribe Occidental, la cual se produjo con anterioridad a la medición de los perfiles en dicho mes.

La variación más drástica del ancho de playa se observó en el perfil 1, en el mes de diciembre respecto a la medición anterior (septiembre) con un incremento de aproximadamente 22 m. El único perfil que ha sufrido una reducción progresiva de la postplaya es el 3, ubicado en el tramo central del sector de estudio, lo cual está en correspondencia con la pérdida de volumen de arena registrado por este perfil (Tabla 2).

De acuerdo a la ubicación de los perfiles, se puede plantear que en los meses de junio y septiembre de 2018 se produjo una reducción de la postplaya hacia los extremos del área de estudio, respecto a su zona central, lo cual difiere como ya se ha planteado con anterioridad, a lo observado en monitoreos anteriores llevados a cabo en este sector costero (Sosa *et al.*, 2015; Rivas *et al.*, 2017).

Con posterioridad, en el mes de diciembre de 2018 se aprecia una progresiva reducción del ancho de playa en dirección Este-Oeste, incrementándose ligeramente hacia el extremo más occidental del área de estudio donde se ubica el perfil 4. Dicho comportamiento debe responder al desarrollo de entrantes y salientes en la línea de costa apreciados durante la medición realizada en esa fecha. Esta situación que ha sido reportada con anterioridad en la zona de trabajo, como es el caso del entrante rítmico observado en el año 1993, por Sosa *et al.* (2005) en este tramo del litoral de las Playas del Este, cuyo origen debía de estar asociado a una abertura en la barra submarina, según el criterio de dichos autores.

En el último mes en que se midieron los perfiles (marzo/2019) se observa un ancho de playa prácticamente homogéneo en gran parte del área de estudio, el

cual se incrementa considerablemente hacia el extremo oriental donde se sitúa el perfil 1.

Acciones antrópicas que provocan afectaciones en el sector costero rehabilitado

Las aberturas creadas, a ambos lados de las tres pasarelas presentes en este tramo costero, constituyen por sí mismas, una pérdida neta de sedimento en el área de duna.

Con vistas a mejorar esta situación se propone que, luego de reparados los tres accesos, se rellenen las aberturas existentes a ambos lados de los mismos. El levantamiento realizado durante el actual monitoreo permitió contabilizar el volumen de arena necesario para reponer, en gran medida, la arena perdida por dicha vía y cerrar las principales aberturas existentes en la cara frontal de la duna, el cual asciende aproximadamente a 242 m³ de arena. Dicho volumen de arena puede ser removido de las dunas secundarias presentes en la zona de estudio.

Por su parte, el análisis de la alta ocupación de la postplaya debe de estar dirigida en dos direcciones: el disfrute de los usuarios a la playa y lo que representa la misma para la recuperación de las dunas en este litoral.

Durante el monitoreo realizado se pudo comprobar que la hilera de mobiliario de playa ubicada más cercana al mar, prácticamente en la misma línea de costa, dificulta los paseos y juegos en esa zona, mientras que la pequeña distancia existente entre una y otra tumbona entorpece la entrada y salida a la zona de baño y el tránsito por la postplaya, lo que puede provocar insatisfacción entre los usuarios de la playa.

Sobre la base de la clasificación de playas establecida por Botero *et al.* (2008a) nuestro sector costero entra en la categoría de uso intensivo, constituyendo un tramo de playa con alta vocación turística y por tanto con altas densidades de visitantes.

La norma propuesta por el Shore Protection Manual (1984) y la Norma Cubana (1988), como

criterio de ocupación en una playa es de 10 m² por turista, la cual es aceptada actualmente para otros sectores costeros de nuestro país, como es el caso de la playa Varadero (Caballero, *et al.*, 2015; Morales, *et al.*, 2016; Morales, *et al.*, 2018). Sin embargo, las observaciones realizadas en el área de estudio durante la presente investigación y en monitoreos anteriores (Sosa *et al.*, 2015; Rivas *et al.*, 2017), permiten demostrar que dicho valor no se cumple en el frente costero del hotel Marazul.

Considerando la norma propuesta de 10 m² por turista, la capacidad de carga de este sector costero, para la actual investigación, sería de unos 644 bañistas, teniendo en cuenta que el ancho promedio de la playa emergida, calculada para todo el período de monitoreo, fue de aproximadamente 23 m y la longitud del sector costero es de 280 m, se calcula un área de exposición solar de 6 440 m².

Sin embargo, en correspondencia con lo planteado por Gore (2007), la capacidad de carga calculada para nuestra área de estudio no es un número estable, sino un valor dinámico pues al hacer un análisis comparativo del comportamiento de este indicador, por perfiles y meses monitoreados, se pudo comprobar que ocurrieron diferencias, tanto en el tiempo, como a lo largo del área de estudio. Por ejemplo, durante la medición de los perfiles en el mes de septiembre el ancho promedio de la postplaya era de 18 m, inferior al resto de los meses monitoreados, para una capacidad de carga de 504 bañistas. Mientras que el perfil 4, ubicado al Oeste del sector de trabajo, reportó durante todo el período de monitoreo un ancho promedio de la postplaya de 20,75 m, inferior al resto de los perfiles.

Sobre la base de la información anterior se hace necesario ajustar en este sector costero, el número de mobiliario de playa, considerando la norma propuesta como criterio de ocupación. Además, se debe tener en cuenta el ancho de la postplaya que se reporte en cada momento, respetando las diferencias que puedan existir, en una misma fecha, en los diferentes sectores de

la zona de trabajo, conociendo que no siempre es homogéneo a lo largo de todo del tramo de litoral estudiado.

Dada la importancia que tiene el cálculo de la capacidad de carga en una playa, para lograr el uso sostenible de dicho litoral, Botero *et al.* (2008b) plantean que la misma debe considerarse como un indicador de base en la gestión integrada de la zona costera. Otros autores como Valdemoro (2005) y Jiménez *et al.* (2007), consideran la densidad de visitantes como una variable clave para la planeación en las zonas de playa.

El alto grado de ocupación en la postplaya en este sector costero reduce considerablemente la superficie disponible para que se produzca un transporte eólico efectivo, el cual es el responsable del traslado de la arena desde ese elemento del perfil de playa hasta la duna.

Teniendo en cuenta que el crecimiento y conservación de la misma depende, entre otros factores, del volumen de arena transportado desde la playa, es de suponer que la alta ocupación de la postplaya constituye un factor que reduce dicho transporte y por tanto la alimentación natural de las dunas. Esta situación se ha mantenido en el tiempo y ha sido valorada con anterioridad por otros investigadores (Sosa *et al.*, 2011; Sosa *et al.*, 2015; Rivas *et al.*, 2017).

Davidson y Law (1990) reportan que es necesaria una distancia mínima, entre uno y otro mobiliario de playa, de entre 10 y 20 m para que el viento alcance un flujo de arena totalmente saturado o máximo transporte, que como se ha podido comprobar no se cumple en este sector costero.

Sobre la base de lo anterior y conociendo que hay momentos en que el mobiliario de playa está desplegado por casi toda la postplaya, sin que el mismo esté ocupado por bañistas, se hace necesario orientar dicho servicio para que cumpla solo con las necesidades reales de su uso, permitiendo que la playa cuenta con una mayor superficie para que el viento movilice la arena, encontrándose, en su trayectoria, con un menor número de obstáculos que pueden provocarle turbulencias.

Conclusiones

Durante el período de monitoreo, las dunas rehabilitadas en el sector costero de Tropicoco cumplieron con su función de protección costera, al impedir las penetraciones del mar, proteger las instalaciones ubicadas tras ellas y servir de reserva de arena a la playa.

En el período de 8 meses, comprendido entre el último monitoreo y el actual, las dunas mostraron una ligera recuperación, con la ganancia de aproximadamente de 45 m³ de arena. Sin embargo, durante el actual monitoreo, se produjo un balance sedimentario negativo, con una pérdida de 665,68 m³ de sedimento y una tasa de retención de arena de -2,37 m³/m/año, muy inferior a los valores reportados, en investigaciones anteriores, realizadas en el área de estudio.

Los cambios morfológicos observados en las dunas y por consiguiente las variaciones en los volúmenes de sedimento reportados, se produjeron fundamentalmente en su cara frontal, manteniéndose estables la parte alta y pendiente trasera de la duna.

Se apreciaron variaciones en el ancho de playa, tanto en el tiempo, como a lo largo del área de estudio, durante el período de monitoreo, aunque la reducción más drástica ocurrió, en todos los perfiles, en el mes de septiembre, como respuesta al paso de una onda tropical por la región occidental de nuestro país.

Se pudo comprobar una alta ocupación de la postplaya en el sector costero frente al hotel Marazul, lo que debe de estar contribuyendo a la reducción del transporte de arena hacia las dunas.

Declaraciones

Financiamiento

El monitoreo llevado a cabo ha sido financiado por la Delegación Territorial del CITMA de La Habana

Conflicto de intereses

No existen conflicto de intereses financieros o no financieros que declarar que sean relevantes para el contenido del manuscrito.

Comportamiento ético

No se utilizaron animales durante la realización del presente estudio.

Permisos de muestreo y otros permisos

No se necesitó solicitar permisos para la realización de esta investigación.

Contribuciones de los autores

"Conceptualización, LR, CF y YCR; Metodología, LR, CF y YCR; Software, CF y YCR; Validación, LR, CF, YCR y SR; Análisis formal, LR y CF; Investigación, LR, CF, YCR, YA, AC y AN; Escritura - Original" Preparación del borrador, LR; Escritura - Revisión y edición, LR, CF, YCR, YA, AC, AN, SR y YI; Visualización, LR; Supervisión, LR; Administración del proyecto, LR; Adquisición de fondos, SR y YI".

Referencias bibliográficas

- Botero, C., Díaz, L.H., Hurtado, Y., Ojeda, M., Herrera, E., González, J. (2008a). *Determinación de un sistema de calificación y certificación de playas turísticas*. Instituto de Investigaciones Tropicales, Universidad del Magdalena, Santa Marta.
- Botero, C., Hurtado, Y., González, J., Ojeda, M., Díaz, L. H. (2008b). Metodología de cálculo de la capacidad de carga turística como herramienta para la gestión ambiental y su aplicación en cinco playas del caribe norte colombiano. *Gestión y ambiente*, 11 (3), 109-121.
- Caballero, V., Morales, P., Felipe, M., González-Capote, D., Rojas, I. (2015). *Monitoreo de la evolución de la playa de Varadero*. Informe parcial. Empresa Inversiones GAMMA S.A.
- Davidson, R.G., Law M.N. (1990). Seasonal patterns and controls on sediment supply to coastal foredunes, Long Point, Lake Erie. In K.F. Nordstrom, N. Psuty and B. Carter (Eds). *Coastal dunes. From and Process* [pp. 177-199].
- Gore, S. (2007). Framework development for beach management in the British Virgin Islands. *Ocean Coast. Manage.*, 50, 732-753.
- Jiménez, J.A., Osorio, A., Marino-Tapia, I., Davidson, M., Medina-Santamaría, R., Kroon, A., Archetti, R., Ciavola, P., Aarninkhof, S. (2007). Beach recreation planning using video-derived coastal state indicators. *Coast. Eng. J.*, 54 (6-7), 507-521.
- Morales, P., Caballero, V., Izquierdo, M., González, R., Peña, L.I., León, L.V., Cuervo, Z., Fontela, J.L., González, Z., Morales, F., Almeida, L.D. (2016). *Rehabilitación funcional de la duna del complejo turístico hotel Internacional de Varadero*. Proyecto ejecutivo. Empresa Inversiones GAMMA S.A.
- Morales, P., Felipe, M., López, D.J., Martínez, M., Rodríguez, Y., Rojas, L., Brito, A., Almeida, Y. (2018). *Monitoreo de la evolución de la playa de Varadero (Conclusión de la quinta etapa)*. Informe de monitoreo. Empresa Inversiones GAMMA S.A.
- Norma Cubana. (1988). *Sistema de normas para la protección del medio ambiente. Áreas de playa*. Comité Estatal de Normalización.
- Rivas, L., Rabeiro, Y.C., Fernández, Y., Salazar, H., Niévarres, A. (2017). *Informe del monitoreo realizado en el sector costero de Tropicoco, Playas del Este de La Habana, durante los años 2016-2017*. Delegación Provincial de la Habana, Cuba.
- Rivas, L., Fernández, C., Almeida, Y., Rabeiro, Y. C., Castro, A., Niévarres, A. (2019). *Informe del monitoreo realizado en el sector costero de Boca Ciega, Playas del Este de La Habana, durante los años 2018-2019*. Delegación Provincial del CITMA de La Habana, Cuba.
- Shore Protection Manual (1984) Tomo 1. Capítulo 4. Material del litoral. In *Coastal Engineering Research Center* [pp. 4-12].
- Sosa, M., Rivas, L., Guerra, R., Felipe, M., García, R. (2005). *Análisis actual de los procesos erosivos en las Playas del Este de Ciudad de La Habana*. Informe de monitoreo. Instituto de Ciencias del Mar, La Habana, Cuba.

- Sosa, M., Rivas, L., Guerra, R., Felipe, M., Niévares, A., Álvarez de Zayas, A. (2007). *Seguimiento de los cambios morfológicos del sistema playa-duna en las Playas del Este. Caracterización de la flora. Resultados 1 y 2*. Informe de monitoreo. Instituto de Ciencias del Mar, La Habana, Cuba.
- Sosa, M., Rivas, L., Guerra, R., Felipe, M., Niévares, A., Álvarez de Zayas, A. (2008). *Seguimiento de los cambios morfológicos del sistema playa-duna en las Playas del Este. Caracterización de la flora. Resultados 3 y 4*. Informe de monitoreo. Instituto de Ciencias del Mar, La Habana, Cuba.
- Sosa, M., Rivas, L., Guerra, R., Álvarez de Zayas, A., Cuervo, Z., Perdomo, D., Felipe, M. (2011). *Rehabilitación funcional de las dunas en un sector de la playa de Santa María del Mar, al Este de La Habana*. Informe ejecutivo. Delegación Provincial del CITMA de La Habana, Cuba.
- Sosa, M., Rivas, L., Perdomo, D., Felipe, M., Salazar, H., Casellas, R.J. (2013). *Informe de la ejecución del proyecto rehabilitación funcional de las dunas en un sector de playa (Tropicoco) Santa María del Mar, al Este de La Habana*. Informe de control de autor. Delegación Provincial del CITMA de La Habana, Cuba.
- Sosa, M., Perdomo, D., Rivas, L., Salazar, H., Felipe, M. (2015). *Informe del monitoreo al área rehabilitada en Tropicoco en el año 2013*. Informe de monitoreo. Delegación Provincial del CITMA de La Habana, Cuba.
- Valdemoro, H. (2005). *La influencia de la morfodinámica en los usos y recursos costeros*. (Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias), Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- www.insmet.cu /estado del tiempo/ resumen mensual. (Consultado el 14 de octubre de 2019).

Como citar este artículo

Rivas-Rodríguez, L., Fernández-Diez, Ch., Rabeiro-Rodríguez, Y.C., Almeida-Villegas, Y., Castro-Reyes, A., Niévares-Pérez, A., Rodríguez-Troche, S., Ibáñez-Carbonell, Y. (2023). Monitoreo en un sector rehabilitado en las Playas del Este, La Habana, Cuba (2018-2019). *Rev. Invest. Mar.*, 43(1), 90-107.