

4

Evolución de médanos costeros del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca, Caribe colombiano

Evolución de médanos costeros del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca, Caribe colombiano

Andrés Felipe Carvajal Díaz¹, Fernando Afanador Franco², Johanna Paola Echeverry Hernández³.

Resumen

En este artículo se presentan los diferentes resultados procedentes de la caracterización morfométrica tridimensional y la evolución de los sistemas de médanos en el Parque Nacional Natural Isla de Salamanca (Departamento del Atlántico) en el Caribe colombiano. Los análisis efectuados incluyeron una estimación de los cambios superficiales de los médanos (4.238 m/año de retroceso) que tuvieron lugar en los años 2005 y 2008 con base en la información del terreno (MDT) obtenida con el sensor LIDAR, así como una evaluación de la tasa de retroceso de la línea de costa calculada con base en fotografías aéreas del año 1961 y el ortofotomosaico del año 2008 (5.70 m/año). Por último, se realizó una estimación del volumen de arena correspondiente a los médanos activos en un sector específico para los años 2005 y 2008 y se cuantificó el balance volumétrico mediante una diferencia de MDT.

Palabras clave:

Médanos, Parque Nacional Natural Isla de Salamanca, LIDAR, MDT, SIG.

Abstract

In this paper the different results coming from the three-dimensional morphometric characterization and the evolution of the médanos systems in the Salamanca Island National Natural Park (Atlantic department) in the Colombian Caribbean are presented. The made analyses included an estimate of the superficial changes of the medanos (4.238 m/year of retreat rate) that had place in the years 2005 and 2008 based on the terrain information (DTM) obtained with the LIDAR sensor, as well as an evaluation of the retreat rate of the coast line based on aerial photographs of 1961 and the orthophotomosaic of 2008 (5.70 m/year). Finally, was carried out an estimate of the sand volume corresponding to the active medanos in a specific sector for 2005 and 2008 and the volumetric balance was quantified through a DTM difference.

Key words:

Medanos, Salamanca Island National Natural Park, LIDAR, DTM, GIS.

1 andresfcarva@hotmail.com Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas – CIOH. Barrio Bosque, Sector Manzanillo, Escuela Naval “Almirante Padilla”, Cartagena, teléfono: (5) 6694104 Ext. 112.
2 fafanador@dimar.mil.co, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas – CIOH. Barrio Bosque, Sector Manzanillo, Escuela Naval “Almirante Padilla”, Cartagena, teléfono: (5) 6694104 Ext. 112.
3 paolechhe@gmail.com, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas – CIOH. Barrio Bosque, Sector Manzanillo, Escuela Naval “Almirante Padilla”, Cartagena, teléfono: (5) 6694104 Ext. 112.



Introducción

El sistema de médanos activos del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca (sector Bocas de Ceniza) no ha sido objeto de estudios detallados relacionados con su formación y evolución, de tal forma que permitan entender la naturaleza y características de estos terrenos. Además, el estudio y análisis cuantitativo del sistema de médanos costeros es un elemento fundamental para el entendimiento de la dinámica litoral, ya que constituye una defensa natural ante el ataque del oleaje y las corrientes.

Por estas razones y dado que la mejora y generalización de diferentes fuentes de información geográfica (aerofotografías digitales y escaneo láser, especialmente), así como de herramientas para su tratamiento, han supuesto un significativo relanzamiento y una importante renovación de los estudios del medio físico y, particularmente, de aquellos que tienen como escenario las zonas costeras [1], [2], [3], se adelantó la presente investigación. Gran parte de estos avances guardan relación con la tradicional pobreza, tanto en número como en calidad de las fuentes de información disponibles para estos entornos. En el caso concreto de los médanos costeros, los problemas vinculados a las fuentes de información espacial tradicionales, pueden resumirse en tres aspectos fundamentales [4]:

- Problemas para el cubrimiento de grandes extensiones en sistemas que suelen requerir de tratamientos integrales desde el punto de vista espacial.

- Problemas vinculados a la precisión geométrica, sobre todo en el caso de la variable altura, en formaciones donde la escala de detalle es fundamental.
- Problemas vinculados a la actualización de la información, al ser sistemas de un gran dinamismo.

Área de Estudio

El Parque Nacional Natural Isla de Salamanca se encuentra ubicado entre los departamentos de Atlántico y Magdalena, en el Caribe colombiano (figura 1) con una extensión en su línea de costa de 66.7 km. Geográficamente, se encuentra entre las coordenadas 11°06'18.43" y 10°59'26.432" latitud Norte y entre los 74°50'56.231" y 74°17'32.566" longitud Oeste del meridiano de Greenwich.

Los médanos mejor desarrollados en todo el parque se presentan como montículos arenosos agrupados de forma alargada y paralelos a la dirección prevaleciente del viento (noreste). Se encuentran limitados hacia el mar por las playas y se extienden hasta el continente, a través de zonas inundables y ciénagas, que se amontonan frente al manglar.

En este sector se presentan médanos de sombra que se forman por acumulación de arenas detrás de un obstáculo vegetal, permitiendo su crecimiento a sotavento de aquella. El frente de manglar constituye el obstáculo al avance de las dunas, provocando mayor acumulación de arenas frente al mismo y

es el lugar donde su altura máxima es de 1.5 m [5].

Una faja pequeña de médanos activos son formados debido a un obstáculo vegetal que bordea toda la costa del parque destacándose grandes médanos estabilizados en el sector oriental adyacente a la ciénaga Cuatro Bocas, las cuales alcanzan alturas de hasta 5 m; se trata de médanos de tipo parabólico longitudinal,

limitados hacia el interior por llanuras de manglar muerto, indicando que se desarrollaron como un amontonamiento de arena contra el frente costero del manglar, penetrando como grandes lenguas en las partes más débiles del último. Principalmente, se encuentran como un cinturón de médanos estabilizados que bordean la línea de costa y retroceden junto con ella, por efectos de la erosión marina [6], [7].

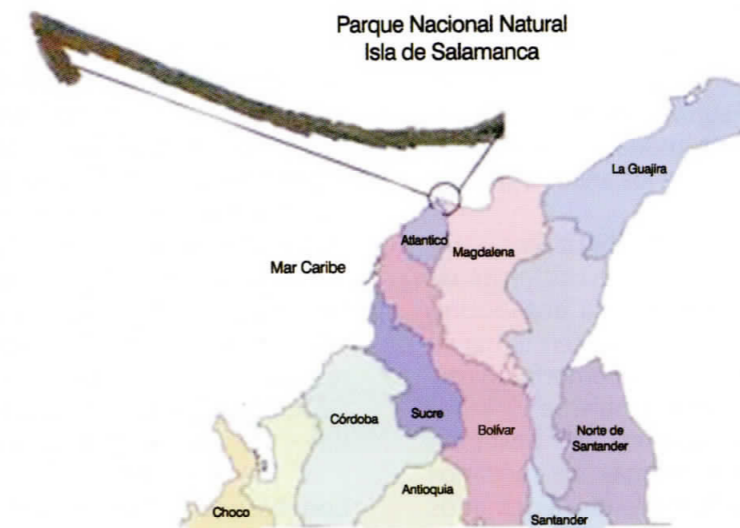


Figura 1. Localización nacional del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca, entre los departamentos de Atlántico y Magdalena, Caribe colombiano.

Metodología

Planteamiento del problema

Debido a la necesidad de identificar de forma clara y exacta los procesos naturales que se desarrollan en el litoral del Departamento del Atlántico, se planteó como problema a resolver, la falta de información detallada sobre la evolución de los sistemas de médanos del Parque Nacional Natural Isla

de Salamanca en el Caribe colombiano, su formación, sus procesos y su dinámica, de tal forma que se cuente con suficientes elementos técnicos y científicos que permitan sustentar la naturaleza y características de estos terrenos para fines de control y administración por parte de la Autoridad Marítima Nacional. El resultado final de la investigación consistirá en una caracterización morfométrica tridimensional, así como el análisis de la dinámica sedimentaria volumétrica

de los sistemas de médanos en el área de estudio.

• Marco teórico

Los médanos costeros son formas terrestres eólicas que se desarrollan en la costa en situaciones en donde existe una amplia disponibilidad de sedimento suelto o no consolidado y que está disponible para ser transportado hacia el continente por el viento. Forman parte de la transición entre el mar y el continente y, normalmente, se encuentran distribuidos y asociados a playas arenosas, que producen un amplio rango de formas costeras relacionadas con cambios espacio-temporales en la disponibilidad de sedimento y el régimen de vientos [8]. Los principales factores que afectan el desarrollo de los campos de médanos y que influyen en su sucesión ecológica y geomorfológica, son los cambios temporales en el clima, cambios temporales en el mar, modificaciones en el suministro de arena y las variaciones causadas por la acción del hombre y de los animales [9].

Una de las más sobresalientes características de los ecosistemas de médanos es su amplia distribución y diversidad ecológica (en términos de dimensiones geomorfológicas, heterogeneidad ambiental y variabilidad de especies). No obstante, muchos ecosistemas de médanos han sido severamente degradados como resultado de una explotación excesiva de los recursos naturales, expansión demográfica caótica y crecimiento industrial [8].

El LIDAR (Light Detection And Ranging) o escaneo láser, es un sistema de sensoramiento remoto activo, que permite efectuar mediciones a distancia sobre la superficie terrestre, a partir de un sensor dispuesto en el interior de una aeronave. El sensor obtiene puntos tridimensionales (x, y, z), a partir de los cuales se pueden generar Modelos Digitales

de Elevación o del Terreno (MDE o MDT). La tecnología se basa en el principio LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), que amplifica la luz por simulación de emisión y radiación.

Por otra parte, la fotografía aérea empleando cámaras digitales ha sido una técnica de sensoramiento relativamente reciente, que ha encontrado en la información obtenida con el sensor LIDAR, un buen nivel de complementación, especialmente para la modelación y análisis de terrenos. Sin embargo, la principal ventaja de la fotografía aérea digital es la representación pictórica de grandes extensiones del terreno, lo que facilita en gran medida, las labores de fotointerpretación y análisis del terreno por parte de los técnicos y profesionales de diversas áreas del conocimiento.

• Metodología de trabajo

La realización de la caracterización morfométrica tridimensional y el análisis de la evolución del sistema de médanos del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca, sector de Bocas de Ceniza, se llevó a cabo utilizando ortofotografías digitales de los años 2005 y 2008, fotografías aéreas de años anteriores del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y datos del sensor LIDAR (figura 2).

Con base en los datos LIDAR filtrados correspondientes al terreno (suelo desnudo) se generan los correspondientes Modelos Digitales del Terreno (MDT) para los años 2005 y 2008. Dado que los datos LIDAR y las ortofotos digitales comparten el mismo sistema de referencia (datum MAGNA-SIRGAS, origen MAGNA-Central), se sobreponen digitalmente posibilitando, de esta manera, la visualización tridimensional del terreno, lo que constituye un valioso recurso para la interpretación geomorfológica de la zona de estudio.

Como primera cuantificación de la dinámica de los médanos de la zona de estudio, se utilizan los DTM de los años 2005 y 2008 y a través de las funciones del SIG (aplicación DSAS - Digital Shoreline Analysis System), el empleo del método de transectos y el ajuste por mínimos cuadrados, se establece la tasa de retroceso/avance de los frentes de médanos en el periodo 2005-2008.

Complementariamente y dada la disponibilidad de material aerofotográfico de años anteriores a

2005 (vuelo IGAC C-986 del año 1961), se georreferencia dicho material con base en las ortofotografías digitales de la zona de estudio y se efectúa un análisis comparativo del comportamiento de la posición de la línea de costa en el periodo 1961-2008. A través de la utilización, nuevamente, del método de transectos, se estiman las tasas de retroceso/avance de la línea de costa.

Adicionalmente, con base en los datos LIDAR de terreno y a través de las fun-

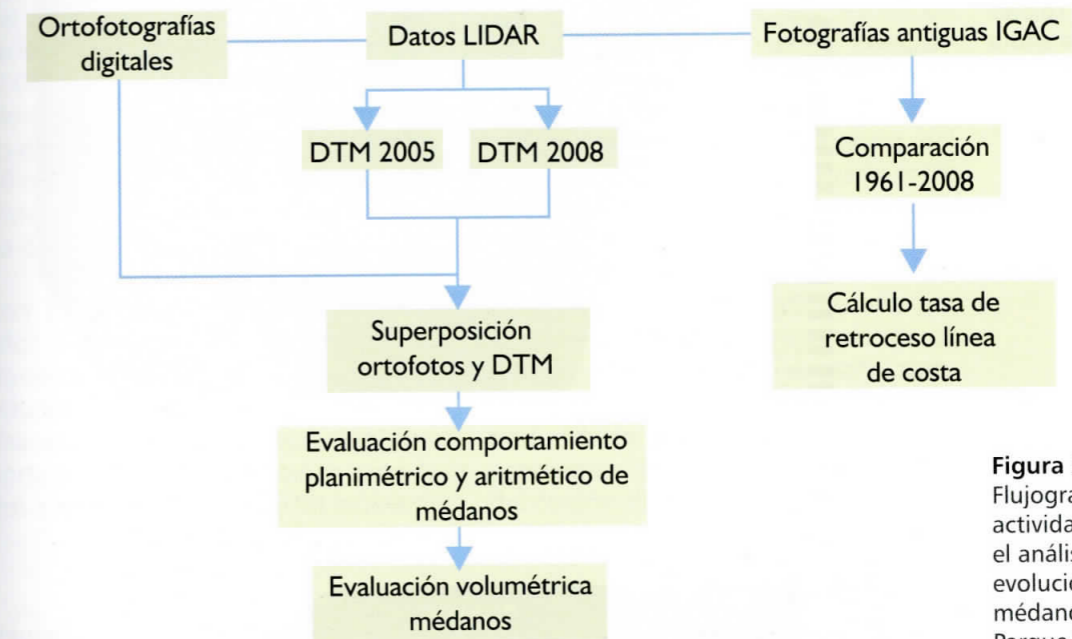


Figura 2. Flujograma de actividades para el análisis de la evolución de los médanos en el Parque Nacional Natural Isla de Salamanca.

ciones de análisis espacial del software MARS®, se efectúan perfiles altimétricos en sitios representativos del área de estudio, con el fin de evaluar el comportamiento de los médanos para los dos períodos de tiempo (2005 y 2008). Otra aplicación de la información, obtenida por el sensor LIDAR, consiste en la explotación directa de los MDT como fuente de información para el análisis volumétrico y diacrónico (balances sedimentarios de un área representativa de la zona de estudio).

Con ello, se obtiene una cuantificación volumétrica, esto permite apreciar el comportamiento de los médanos en dicho período. Para realizar este análisis, se establece un área representativa de la zona estudiada, se restringe el MDT sólo a los datos de terreno pertenecientes a esta, esto busca excluir los datos de otras geoformas y/o infraestructuras presentes en el terreno para llevar a cabo el cálculo del volumen de sedimento de médanos para dos años diferentes.

Resultados y discusión

La aplicación de la metodología propuesta en la presente investigación permitió, en primer lugar, la generación de los Modelos Digitales del Terreno del área de estudio para los años 2005 y 2008. Los ortofotomosaicos digitales

y los Modelos Digitales del Terreno se ilustran en las figuras 3 y 4. Los colores representan las diferentes alturas elipsoidales del terreno en el sector de estudio, mostrando en color rojo el rango correspondiente a las alturas de los médanos activos: -7 a -6.5 metros referidos al elipsoide WGS-84 (figura 5).

Figura 3. Modelo Digital del Terreno generado a partir de datos obtenidos por el sensor LIDAR en el año 2005. El rango de colores representa la altura elipsoidal del terreno en cada punto.

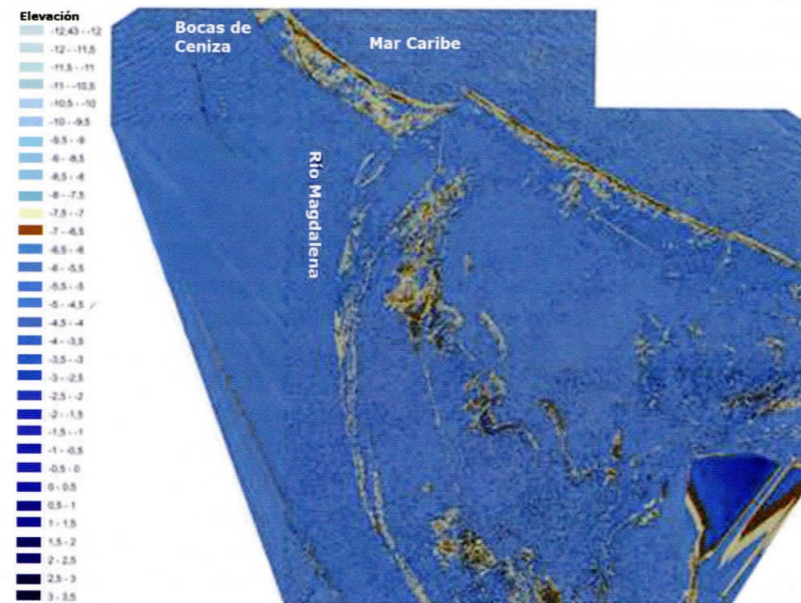
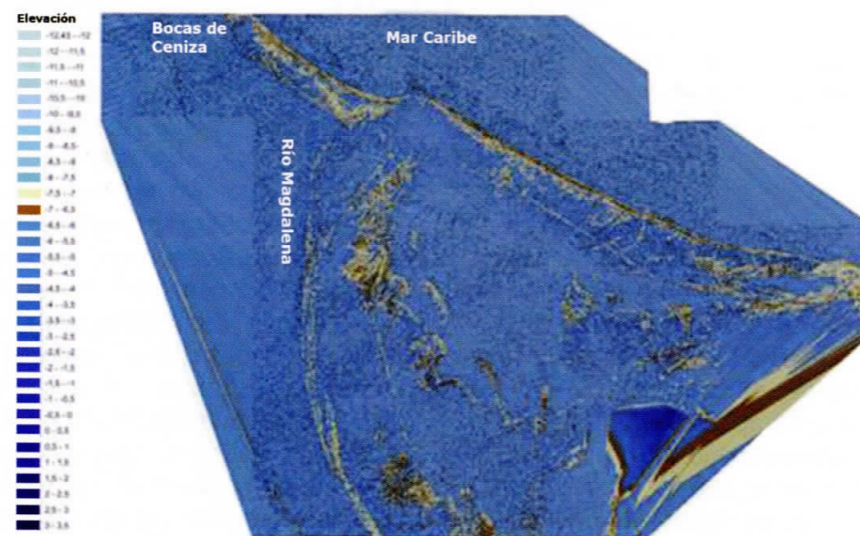


Figura 4. Modelo Digital del Terreno generado a partir de datos obtenidos por el sensor LIDAR en el año 2008. El rango de colores representa la altura elipsoidal del terreno en cada punto.



Al realizar las comparaciones y mediciones entre las distintas fechas, se efectuó una evaluación de las tasas de retroceso de los frentes de médanos en los dos años considerados (11 transectos a 50 m de separación entre cada uno de ellos) (Figura 6). La tasa de retroceso de los frentes activos para el período 2005 a 2008 fue de 4.238 m/año (Figura 7). Este hecho, generalizable a todo el sistema, es una de las señales más claras que apuntan hacia una progresiva ralentización de la dinámica de los médanos, cuyas causas están aún por determinar.

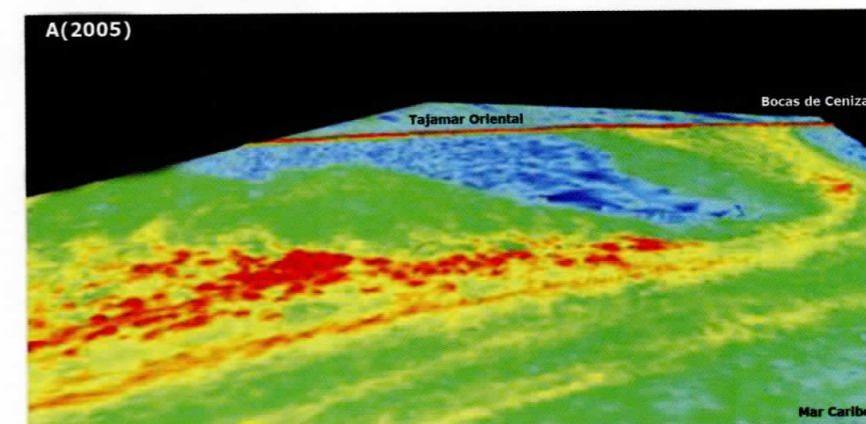
respectivamente, el comportamiento asimétrico de los dos años, en donde se observa que la máxima altura elipsoidal del cordón de médanos activos de dicho transecto fue de -6.47 m y de -6.56 m respectivamente (alturas elipsoidales referidas al WGS-84). La suma de ambos procesos se traduce en un estrechamiento general de los cordones de médanos. La Figura 9C muestra una síntesis de los procesos más generalizados en la evolución de los cordones de médanos. De manera complementaria, en la figura 10 se ilustran los resultados del análisis volumétrico en un sector específico del área de estudio.

Por otra parte, con base en la información proveniente del vuelo IGAC C-986 del año 1961, se efectuó una comparación con el ortofotomosaico del año 2008, lográndose un período de estudio de 47 años. Se cuantificó el retroceso de la línea de costa (41 transectos a 50 m de separación entre cada uno de ellos) debido a la fuerte dinámica marina del sector (5.70 m/año) (figura 8).

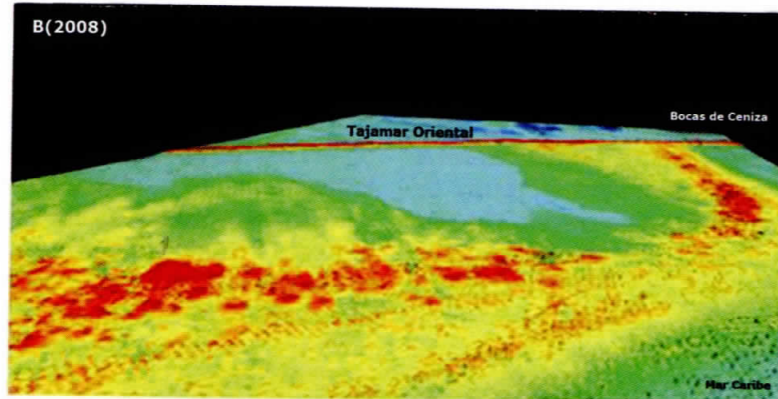
En este caso concreto, los resultados evidencian un cambio en el comportamiento de los médanos y de la línea de costa en el período estudiado. Este cambio supone una disminución del área de intercambio sedimentario entre las zonas de acumulación y las zonas de deflación. Las zonas de acumulación, en la parte superior de los médanos, sufren un estrechamiento causado por las tasas de retroceso de los frentes. Las zonas de deflación, por su parte, también muestran una reducción general, traducida en la mayor convexidad de las pendientes en las caras de barlovento del cordón de médanos.

Con base en los datos LIDAR de los años 2005 y 2008 se seleccionó un transecto representativo del área de estudio, en el cual se realizó un perfil altimétrico con el fin de evaluar el comportamiento de los médanos para los dos años. Las figuras 9A y 9B muestran,

Figura 5. A. Vista tridimensional de los datos LIDAR del año 2005



B. Vista tridimensional de los datos LIDAR del año 2008,



C. Superposición de las dos MDT sobre el ortofotomosaico del año 2008.

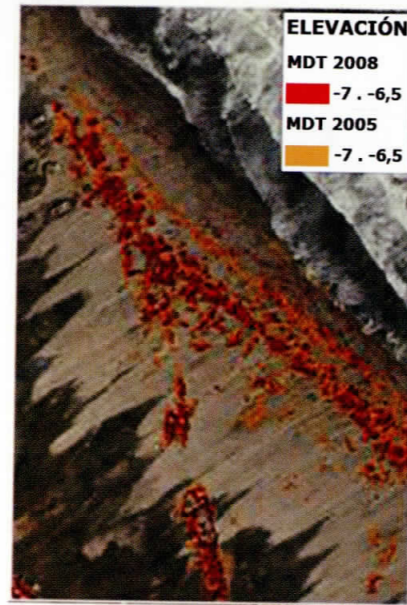


Figura 6. A. Estado del frente de médanos activos y línea de costa para el año 2005 según el MDT y la ortofotografía del respectivo año, B. Estado del frente de médanos activos y línea de costa para el año 2008 según el MDT y la ortofotografía del respectivo año.

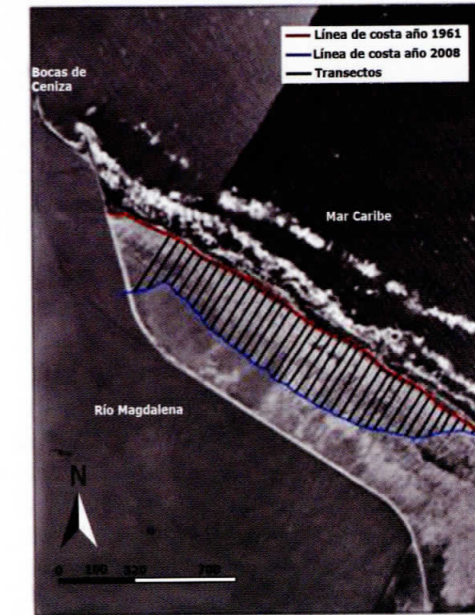
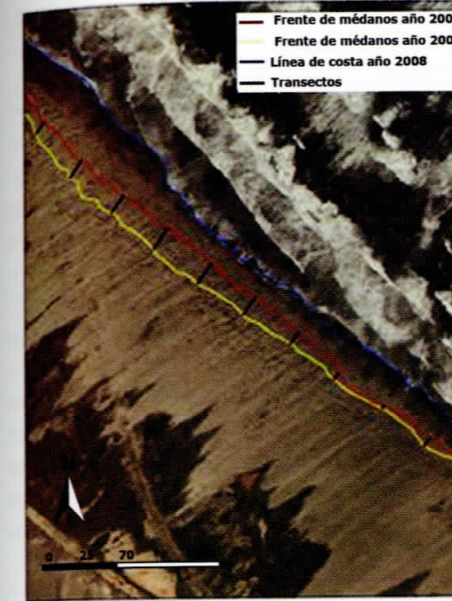
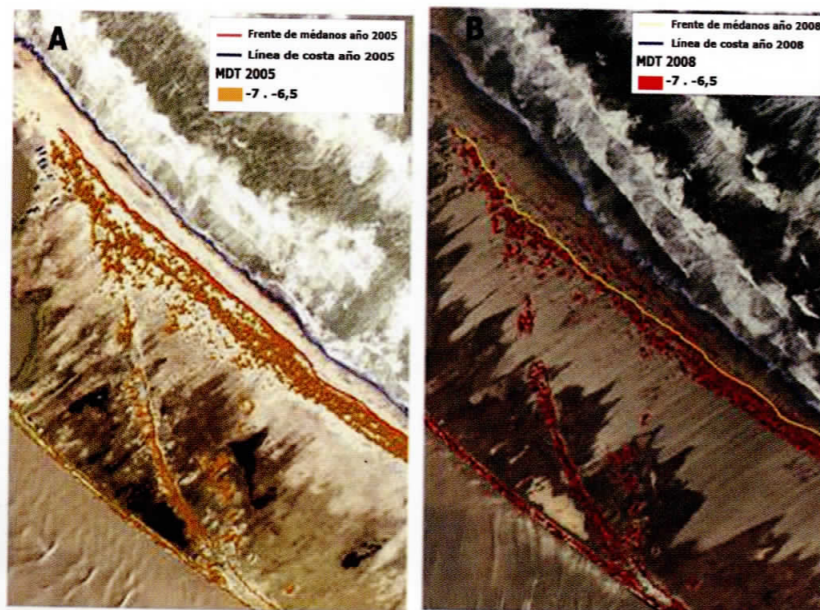


Figura 7 derecha. Medición de las longitudes de retroceso del frente de médanos activos para el periodo 2005-2008.

Figura 8 izquierda. Análisis multitemporal de la línea de costa de los años 1961 y 2008, en la cual se observa un significativo retroceso producto de la alta actividad marina del lugar.

Conclusiones

Metodológicamente, es significativo el aporte de ortofotografía digital y el escaneo láser (sensor LIDAR) para realizar análisis diacrónicos de carácter planimétrico y volumétrico retrospectivo, útiles en investigaciones y aplicaciones en el campo de la geomorfología litoral. Una de las principales ventajas de la utilización del sensor LIDAR es la obtención de información en la tercera dimensión (z) para extensas zonas de trabajo, en especial de zonas costeras, en un tiempo de vuelo bastante reducido si se compara con el tiempo empleado por las técnicas tradicionales de altimetría. Por otra parte, el carácter geométrico de las ortofotografías digitales permite realizar comparaciones y mediciones entre distintas fechas, con un mayor rigor en los resultados obtenidos. Además, el carácter digital de estas y la posibilidad de integrarlas en programas con un enorme potencial analítico desde la perspectiva espacial (SIG, tratamiento digital de imágenes, etcétera) abre nuevas perspectivas de análisis en esta temática [10].

En geomorfología litoral, el elevado dinamismo de las geoformas y procesos

resultantes (médanos, playas, etcétera), la enorme variabilidad espacio-temporal de las formas y el control que ejerce la variable altimétrica sobre diferentes procesos geomorfológicos (inundación, oleaje, deflación) y biológicos en las zonas costeras, hace necesario contar con un MDT y aerofotografías de alta resolución, como punto de partida para el trabajo geomorfológico.

Las funciones de análisis espacial en un entorno SIG, aplicadas a estos datos, abren igualmente nuevas expectativas y enfoques metodológicos en geomorfología litoral (evaluación de riesgos, modelización temporal, balances sedimentarios, etcétera).

Una aplicación similar de estas técnicas ha sido desarrollada [11] a través de la implementación de un método para analizar y visualizar la topografía y sus cambios en las islas barrera de una parte de la costa de Carolina del Norte en Estados Unidos. El método se basa en la aplicación de Modelos Digitales del Terreno con resolución de 1.5 m obtenidos de datos LIDAR de los años 1997, 1998, 1999 y 2000. Por otra parte, en los Estados que bordean el Golfo de México (Florida, Alabama, Mississippi, Louisiana)

na y Texas), se han venido adelantando investigaciones similares acerca de las tendencias históricas y presentes de las tasas de cambio de la línea de costa (comparando líneas de costa históricas de los años 1800, 1920, 1930 y 1970 con uno actual obtenido con el sensor LIDAR para el año 2002). Las líneas de costa utilizadas en cada período de análisis fueron desplegadas con software SIG y el cálculo de las tasas de cambio fue realizado con la extensión DSAS (Digital Shoreline Analysis System) utilizando las diferentes funcionalidades que para el efecto posee [12]. Igualmente, [13] reporta la utilización de tecnología de SIG y datos LIDAR a través de MDT de diferentes resoluciones espaciales para caracterizar los cambios en los sistemas

dunares del Cape Aterras Nacional Seashore en Carolina del Norte (Estados Unidos).

En este contexto, la utilización de la información contenida en los MDT, ortofotografías digitales y aerofotografías antiguas de épocas diferentes (a través de indicadores como las tasas de avance/retroceso de línea de costa y de médanos y cálculos volumétricos), permite determinar la ocurrencia o no y la cuantificación de fenómenos de interés para el conocimiento de las zonas costeras como la erosión, acreción y el transporte eólico que, por lo general, se encuentran asociados a la dinámica marina y condiciones climáticas del sector que se estudie.

Figura 9.

Perfiles altimétricos en un sector del área de estudio obtenidos a partir de datos LIDAR de terreno. A. Perfil del año 2005. El círculo rojo muestra la máxima altura elipsoidal en el tramo (-6.47 m). B. Perfil del año 2008. El círculo rojo muestra la máxima altura elipsoidal en el tramo (-6.56 m). C. Gráfico del tramo analizado donde se muestra el comportamiento de la actividad de los médanos para los años 2005 y 2008 a lo largo del perfil elaborado.

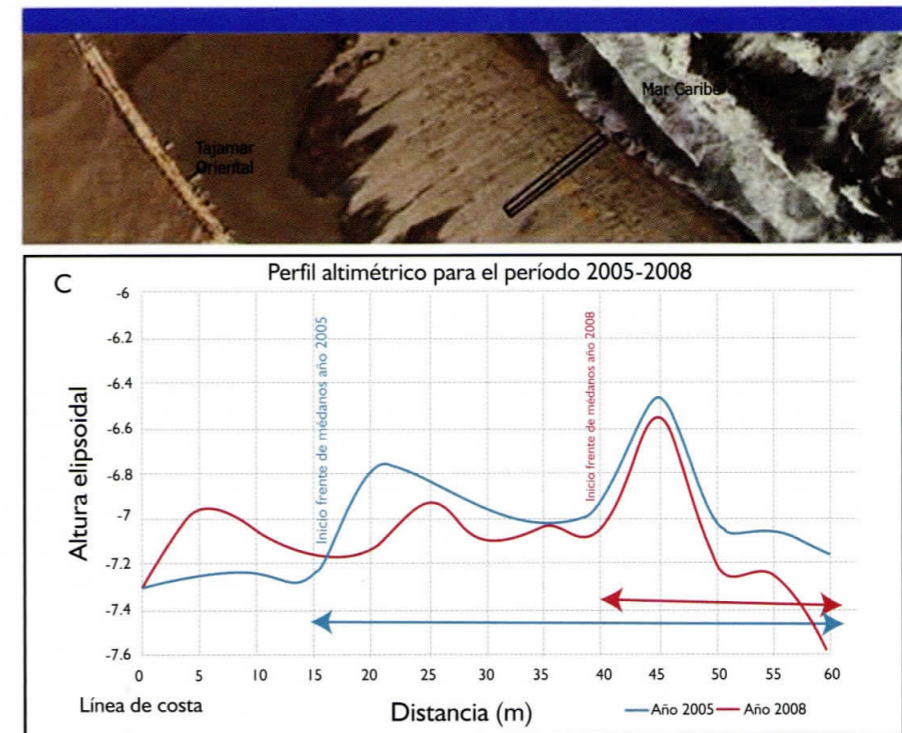
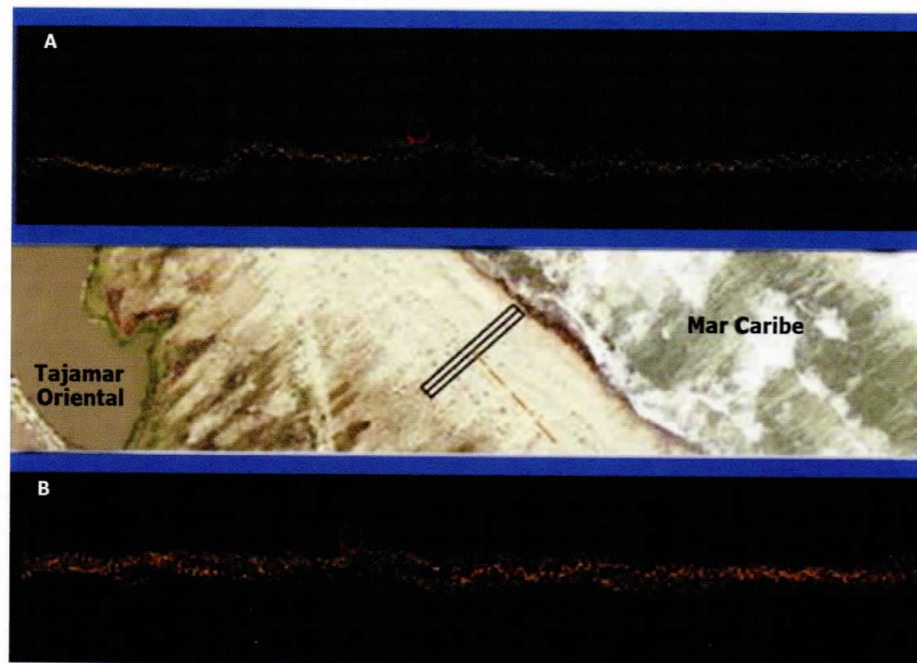


Figura 10.

Cálculo de los volúmenes sedimentarios para un sector específico del área de estudio (recuadro rojo). A. Resultados de la cuantificación del volumen sedimentario del área específica según datos LIDAR del año 2005 (7028.22 m³). B. Resultados de la cuantificación del volumen sedimentario del área específica según datos LIDAR del año 2008 (3824.00 m³).



Bibliografía

- [1] Saye, S., Van der Wal, D., Pye, K., Blott, S. Beach dune morphological relationships and erosion/accretion: an investigation at five sites in England and Wales using LIDAR data. *Geomorphology*: 2006; 72: 128-155.
- [2] Mitsova, H., Overton, M., Harmon, R. Geospatial analysis of a coastal sand dune field evolution: Jockey's Ridge, North Carolina. *Geomorphology*: 2005; 72: 204-221.
- [3] Stephenson, W., Brander, R. Coastal geomorphology into the twenty-first century. *Progress in Physical Geography*: 2003; 27, 4:607-623.
- [4] Ojeda, J., Vallejo, I. El Empleo de los Modelos Digitales del Terreno (MDT) para la Caracterización Geomorfológica del Sistema de Dunas Móviles del Parque Nacional de Doñana (Huelva). Blanco-Chao y otros (editor). *Procesos geomorfológicos y evolución costera*. Universidad de Santiago de Compostela. 2004. p. 119-132.
- [5] Martínez, J., Molina, L. Geomorfología y aspectos erosivos del litoral Caribe, sector: Bocas de Ceniza-Parque Tayrona. *Ingeominas Informe Inédito*. Bogotá, Colombia. 1992.
- [6] Carvajal, A., Caracterización físico-biótica del litoral del Departamento del Atlántico. DIMAR (editor). *Caracterización físico-biótica del litoral Caribe colombiano*. Tomo I. Serie Publicaciones Especiales CIOH Vol. 1. Cartagena de Indias, Colombia, 2009. p. 97-110.
- [7] Marriaga, L. 2009. Caracterización físico-biótica del litoral del Departamento del Magdalena. DIMAR (editor). *Caracterización físico-biótica del litoral Caribe colombiano*. Tomo I. Serie Publicaciones Especiales CIOH Vol. 1. Cartagena de Indias, Colombia; 2009. p. 67-96.
- [8] Martínez, N.P., Psuty, R.A. Lubke. *Coastal Dunes. Ecology and conservation*. Ecological Studies 171. Springer-Verlag. Berlin, 2004.
- [9] Pirjo, H. *The Development of Coastal Dunes and their Vegetation in Finland*. Department of Geography. University of Helsinki, 1999.
- [10] Ojeda, J., Vallejo, I., Hernández, L., Álvarez, J. Fotogrametría digital y LIDAR como fuentes de información en geomorfología litoral (marismas mareales y sistemas dunares): el potencial de su análisis espacial a través de SIG. *Boletín de la A.G.E.* 2007; 44: 215-233.
- [11] White, S., Wang Y. Utilizing DEM derived from LIDAR data to analyze morphologic change in the North Carolina coastline. *Remote Sensing of Environment*: 2003; 85: 39-47.
- [12] U.S. Geological Survey. Center for Coastal and Watershed Studies. *National Assessment Of Shoreline Change: Part 1 Historical Shoreline Changes And Associated Coastal Land Loss Along The U.S. Gulf Of Mexico*. Open File Report 2004-1043; 2004.
- [13] Woolard, J., Colby J. Spatial characterization, resolution and volumetric change of coastal dunes using airborne LIDAR: Cappe Hattreas, North Carolina. *Geomorphology*: 2002; 48: 269-287.