



CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA Y BALANCE SEDIMENTARIO EN EL SISTEMA DE DUNAS DE MASPALOMAS (GRAN CANARIA) A PARTIR DE DATOS LIDAR

I. Vallejo ¹, L. Hernández Calvento ², J. Ojeda ¹, P. Mayer ² y A. Gómez Molina ³

¹ Departamento de Geografía Física y AGR, Universidad de Sevilla. María de Padilla s/n (41004) Sevilla. ivallejo@us.es; zujar@us.es

² Departamento de Geografía, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Pérez del Toro, 1 (35003) Las Palmas de Gran Canaria. lhernandez@dgeo.ulpgc.es; pmayer@dgeo.ulpgc.es

³ Stereocarto S.L. Paseo de la Habana nº 200, 28036 Madrid, España. info@stereocarto.com

Resumen: El estudio de los sistemas de dunas activas conlleva una serie de dificultades que se derivan, entre otros aspectos, de los problemas para la adquisición generalizada, continua y sincrónica de información topográfica de detalle sobre los mismos. Recientemente, la utilización de datos LIDAR ha demostrado una excelente idoneidad para este tipo de aplicaciones, con resultados muy satisfactorios en entornos dunares del litoral, en medio desérticos e incluso en la superficie de Marte. A partir de los datos LIDAR procedentes de dos vuelos efectuados en 2006 y 2008 sobre el sistema de dunas de Maspalomas (Gran Canaria), se llevan a cabo una serie de trabajos que comprenden (i) la descripción pormenorizada de dicho sistema a través de la generación de mapas de altitudes, pendientes y orientaciones, (ii) la estimación del volumen total de arenas del mismo, y (iii) el balance sedimentario que tiene lugar entre las fechas de referencia.

Palabras clave: Dunas activas, Maspalomas, LIDAR, Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

Abstract: Main problems in active dune studies are due to difficulties in continuous and synchronic topographic data acquisition. Recently, LIDAR data has been successfully used in this sort of applications in such a different environment as coastal and desert dune systems, or even in Martian dune fields. This work makes use of two different sets of LIDAR data, obtained in 2006 and 2008 in Maspalomas dune system (Canary Islands); obtained results include (i) detailed description from elevation, slope and aspect information, (ii) sand volume estimation and (iii) sediment budget for the studied period.

Key words: Active dunes, Maspalomas, LIDAR, Digital Elevation Model (DEM)

Vallejo, I., Hernández Calvento, L., Ojeda, J., Mayer, P. y Gómez Molina, A. (2009): Caracterización morfológica y balance sedimentario en el sistema de dunas de Maspalomas (Gran Canaria) a partir de datos LIDAR. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 22 (1-2): 57-65

Edita: *Sociedad Geológica de España*
ISSN: 0214-2708



La utilización de información altimétrica resulta esencial en la mayor parte de las caracterizaciones geomorfológicas; más aún, para determinados entornos la disponibilidad de este tipo información con un cierto nivel de detalle resulta absolutamente crucial y la que existe o se deriva de las fuentes tradicionales, se muestra manifiestamente insuficiente. Entre otros, los ambientes costeros (playas, marismas, dunas) presentan tradicionalmente un importante déficit de información altimétrica en las diferentes series de cartografía disponibles, hecho que se asocia a diferentes problemas como la accesibilidad a estos espacios, la importancia que en ellos presentan las microtopografías y el alto dinamismo que suele caracterizar a las formaciones presentes. La alternativa al uso de fuentes cartográficas tradicionales en estos estudios ha sido el levantamiento *ex profeso* de la información altimétrica, proceso normalmente complejo y costoso y que, en muchos casos, tampoco garantizaba la calidad deseable en los datos obtenidos. Así, por ejemplo, las técnicas vinculadas a la topografía tradicional no logran una cobertura continua de la zona estudiada cuando se basan en el levantamiento de perfiles o, si pretenden esta cobertura total, elevan excesivamente los costes del proyecto, con el agravante de implicar unos lapsos temporales que pueden superar los de algunos procesos propios de estos entornos. En el caso de la fotogrametría, que presenta como ventaja manifiesta la posibilidad de los estudios retrospectivos, hace necesario un laborioso apoyo interpretativo si se pretenden alcanzar altos niveles de precisión altimétrica, sin que en muchos casos estos sean suficientes para la caracterización de formaciones de detalle (Vallejo y Ojeda, 2008).

El uso de datos procedentes de sensores LIDAR aerotransportados está llamado a convertirse en una alternativa del máximo interés en el campo de la

investigación de estos espacios, siendo ya una realidad su utilización en el levantamiento de la topografía costera en países como Holanda o Estados Unidos desde mediados de los 90 (Brock *et al.*, 1999), o en estudios específicos sobre entornos marismos (Ojeda *et al.*, 2006) y dunares (Saye *et al.*, 2005; Mitasova *et al.*, 2005). En estos últimos casos, los datos altimétricos obtenidos mediante LIDAR ofrecen, junto a elevados niveles de cobertura espacial (más de un dato por metro cuadrado), unos niveles de precisión altimétrica que se sitúan por encima de los 0,25 metros, ofreciendo la posibilidad de derivar información topográfica de gran calidad, así como estimaciones volumétricas del máximo interés para los estudios sobre sistemas dunares. Cuando se hace posible la adquisición repetitiva de este tipo de datos, como es el caso del presente trabajo, las posibilidades se multiplican, extendiéndose a aplicaciones como el cálculo de tasas de avance o la estimación de balances sedimentarios (Ojeda *et al.*, 2007).

Área de estudio

El sistema de dunas de Maspalomas, situado al sur de la isla de Gran Canaria (Fig. 1) constituye un área compleja, considerando su carácter de espacio natural protegido, y al mismo tiempo el papel que históricamente ha desempeñado en el desarrollo económico de la isla. El sistema ocupa unos 3,5 km² y se divide en dos unidades fundamentales; por un lado, un campo de dunas activas que ocupa los sectores sur y este, y, por otro lado, un campo de dunas semiactivo de menor extensión que el anterior, que se sitúa en el sector noroeste. La primera de estas unidades, que representa el objeto fundamental de este estudio, se compone de un conjunto de dunas móviles, mayoritariamente de tipo barjanoide, que avanza de este a oeste, desde la Playa del Inglés, que constituye la

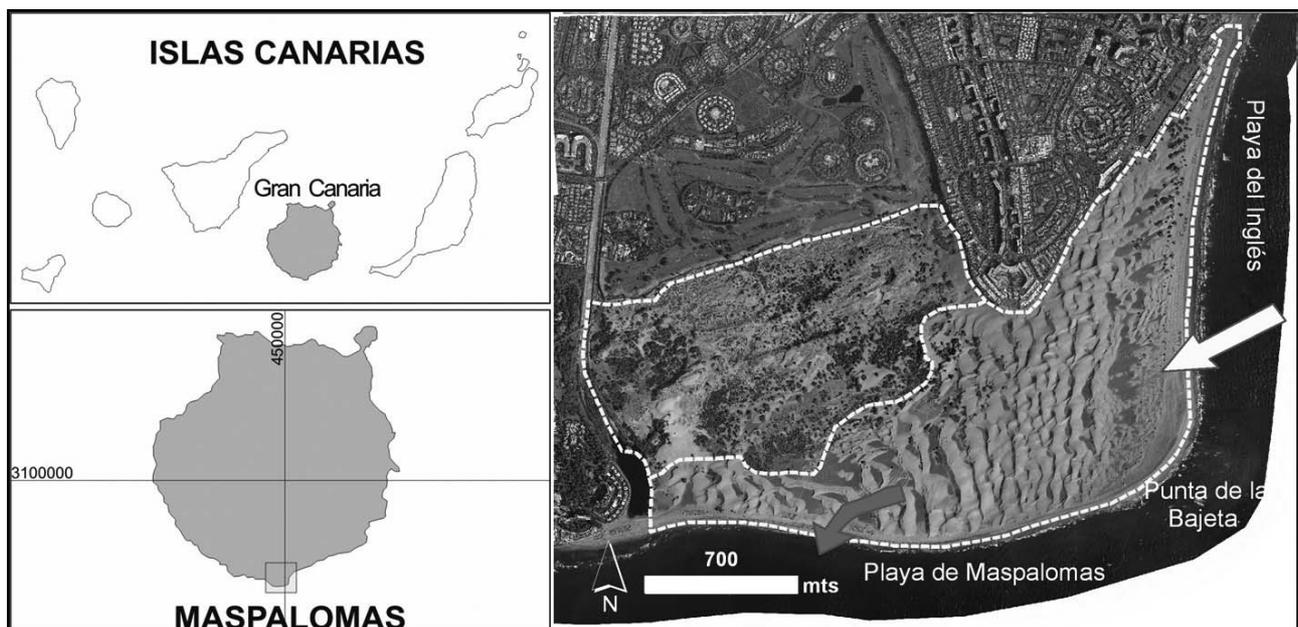


Figura 1.- Localización del sistema de dunas de Maspalomas y vista general.

fuente principal de sedimentos, hasta la Playa de Maspalomas, cuyos eventos erosivos afectan a las formaciones dunares aledañas.

Las transformaciones experimentadas por este sistema en las últimas décadas han sido objeto de un amplio número de publicaciones, que ponen de manifiesto la tendencia erosiva del sistema (Hernández, 2002; Hernández *et al.*, 2006; Alcántara-Carrió *et al.*, 2007), que muestra un déficit sedimentario, especialmente apreciable en el área de entrada de las arenas, la playa de El Inglés (al este), con transformación de las geoformas eólicas y aparición del sustrato subyacente; este proceso también se identifica en el área central del campo de dunas, donde los procesos de deflación han permitido la exhumación de suelos y material geológico (Hernández y Mangas, 2004). En este contexto, las variaciones experimentadas por la cubierta vegetal (Hernández *et al.*, 2006), permiten dibujar un escenario marcado por intensas transformaciones de origen antrópico (Hernández *et al.*, 2005).

Las investigaciones que se han desarrollado en los últimos años han tenido por objetivo la caracterización de los distintos elementos y procesos que tienen lugar en este sistema, con el fin de aportar datos que ayuden a tomar decisiones a los organismos competentes en su gestión. Entre estos trabajos se han abordado, por distintos métodos, la caracterización de la dinámica de las dunas, con el fin de conocer mejor los volúmenes en tránsito, la velocidad de desplazamiento, o las posibles interferencias antrópicas en la dinámica. Los antecedentes que existen acerca de este aspecto se ciñen a los cálculos realizados a finales de los años setenta, con base en métodos expeditos, por Nadal y Guitián (1983), que cifraban el avance de las dunas entre 2 y 5 metros/año en la dirección SO, marcada por los vientos alisios de componente ENE (Fig.2). Observaciones

directas (haciendo uso de instrumental específico), realizadas por Martínez *et al.*, (1986), permitieron la identificación de variaciones en la dirección del viento, que llevan a la interpretación de posibles “retrocesos” ocasionales de los depósitos eólicos. Los trabajos realizados por Hernández (2002), por medio de trabajo de campo, y del análisis de datos de viento registrados en la estación automática que el Instituto Nacional de Meteorología tiene instalada en las inmediaciones del campo de dunas, permitieron calcular avances netos de entre 0,75 y 12 metros por año en la dirección SO para algunas dunas móviles. Finalmente, en los últimos años se ha trabajado con métodos relacionados con las tecnologías de la información geográfica (GPS diferencial y ortofotos), que han permitido conocer con mayor precisión la dinámica de las dunas localizadas en el sector central de la playa de Maspalomas (Hernández *et al.*, 2006a), obteniéndose una cifra de desplazamiento de entre 5 y 8 metros anuales, dependiendo de la morfología del depósito, para el período comprendido entre enero de 2005 y febrero de 2006.

Los objetivos básicos del presente trabajo son dos; por un lado, (i) ofrecer una precisa caracterización morfométrica del sistema de de Maspalomas y, por otro lado, (ii) efectuar un balance sedimentario para dicho sistema en el periodo de estudio considerado.

Material y método

Los datos fundamentales para el presente trabajo proceden de dos vuelos en los que se utilizaron sensores LIDAR, y que corresponden a las fechas 22/10/2006 y 19/03/2008, respectivamente. Ambos vuelos se apoyan en el sistema de referencia correspondiente a la red REGCAN (Red geodésica de las Islas Canarias). Los datos originales presentaban una resolución espacial de 1,28 pts/m² expresados en puntos por metro cuadrado, mientras que a nivel altimétrico se estimaron precisiones entre 0,15 y 0,20 metros. A partir de ambos conjuntos de puntos altimétricos se han generado sendos modelos digitales de elevaciones (MDE) mediante un proceso de interpolación (Spline-tension); los MDE resultantes presentan un tamaño de celdilla de 1 metro, y se ha recalculado el error altimétrico absoluto que se sitúa en 0,45 metros. A nivel relativo, sin embargo, esto es al comparar las elevaciones de puntos de control entre ambos modelos, los errores se sitúan por debajo de los 0,05 metros.

Para dar cumplimiento al primero de los objetivos planteados, referido a la caracterización morfométrica del sistema de dunas activas, se ha tomado como referencia la información correspondiente a 2006. Al margen de haber contado con más tiempo para su tratamiento, se trata de una información más completa, ya que en el mismo vuelo se tomaron los datos LIDAR y una serie de fotografías aéreas con cámara digital; esto hecho ha permitido la obtención de una ortofotografía con resolución de 10 cm, que además presenta las ventajas asociadas a su carácter

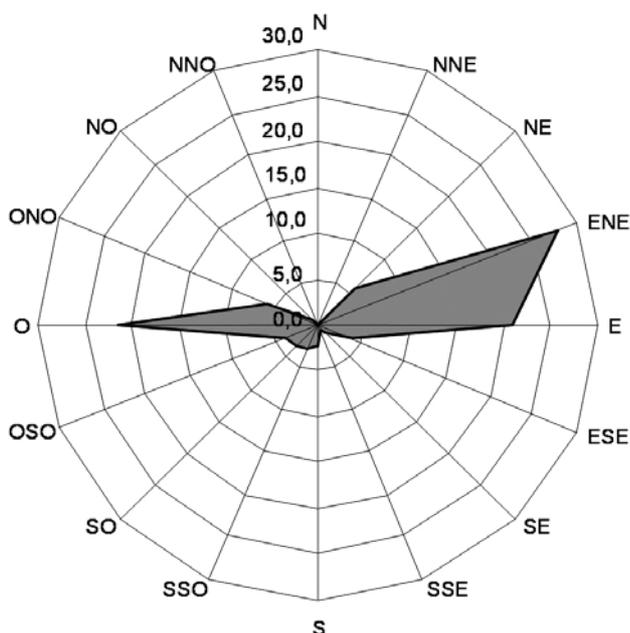


Figura 2.- Frecuencia de las direcciones de viento efectivo en Maspalomas entre 1997 y 2005 (Fuente: INM).



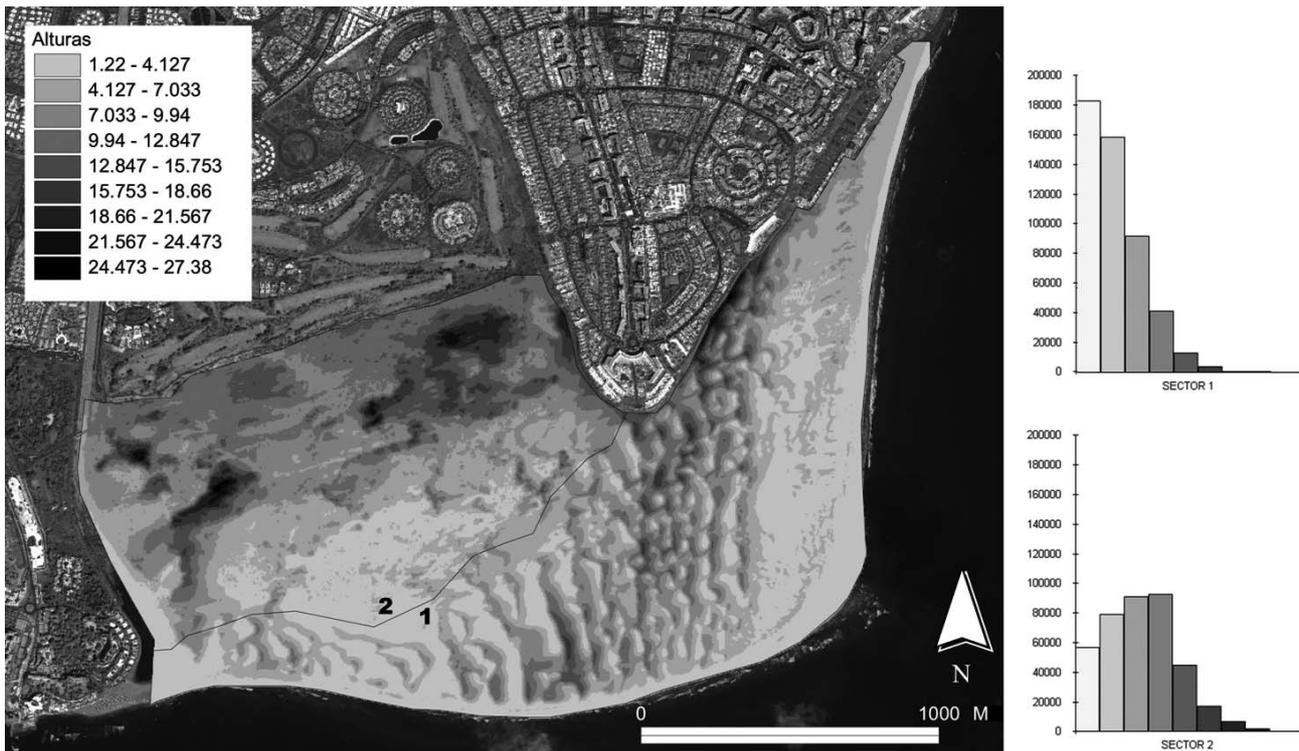


Figura 3.- Distribución de las alturas en el sistema dunas y localización de perfiles topográficos.

multiespectral (visible e infrarrojo próximo) y a una mayor resolución radiométrica (12 bit), que la dotan de una gran utilidad interpretativa. A grandes rasgos, los trabajos han consistido en la explotación de los modelos digitales del terreno (MDT), tanto en su versión general (modelo digital de superficies - MDS), como en su versión restringida a la altura topográfica (modelo digital de elevaciones - MDE); en este último caso, la información derivada ha permitido la generación de cartografía de altitudes, pendientes y orientaciones, así como la estimación del volumen de arenas del sistema dunar.

En el caso del segundo objetivo, centrado en el balance sedimentario en el periodo de estudio, los trabajos conllevan dos tareas específicas. La primera consiste en efectuar una diferencia entre los MDEs de cada fecha, de manera que se obtenga una representación de las áreas de deflación y acumulación en la totalidad del sistema. La segunda, referida al volumen total de arenas, consiste en restar los volúmenes que arrojan ambos MDE para obtener finalmente el balance sedimentario general para la totalidad del sistema.

Resultados

Caracterización morfométrica y volumétrica

Caracterización altimétrica. Para la caracterización altimétrica se presentan diversos ejemplos de información. En primer lugar (i), la figura 3 muestra una imagen con la distribución de las alturas en el área de estudio, distinguiéndose los dos sectores anteriormente

citados mediante sendos histogramas. En el primer sector, con una altitud media de 6.09 metros, se aprecia un histograma acorde con la regularidad del campo de dunas transversales; las menores alturas, se corresponden con la zona de alimentación anexa a la playa, así como con las depresiones interdunares; las alturas medias están constituidas por las pendientes de barlovento de las dunas, mientras que las más altas representan las crestas dunares (altura máxima de 26,10 metros.) que conforman una zona alineada en sentido NE-SO (casi paralela a la Playa del Inglés) desde las primeras crestas adosadas a la terraza sedimentaria. El sector 2, presenta una mayor altitud media (9,10 metros), mostrando un patrón bastante más irregular como corresponde a una zona con grados de actividad eólica más contrastados, incluyendo dunas residuales fijadas por la vegetación y áreas con altos niveles de deflación.

En segundo lugar (ii), se muestran dos perfiles representativos de cada sector (Fig. 4), cuya localización se indicaba en la figura anterior (Fig.3). En ellos se muestran tanto la altura topográfica (Modelo Digital de Elevaciones) como la representada por la vegetación (Modelo Digital de Superficies), poniéndose de manifiesto, de nuevo, la mayor irregularidad del segundo sector, la presencia en el mismo de un substrato de altura superior (siempre por encima de 4 metros), así como la importancia que en el mismo tiene la vegetación en la constitución de los distintos tipos de dunas.

Variables topográficas derivadas. En el caso de las variables derivadas del MDE, se ha realizado un mapa de las pendientes superiores a los 15°, así como un

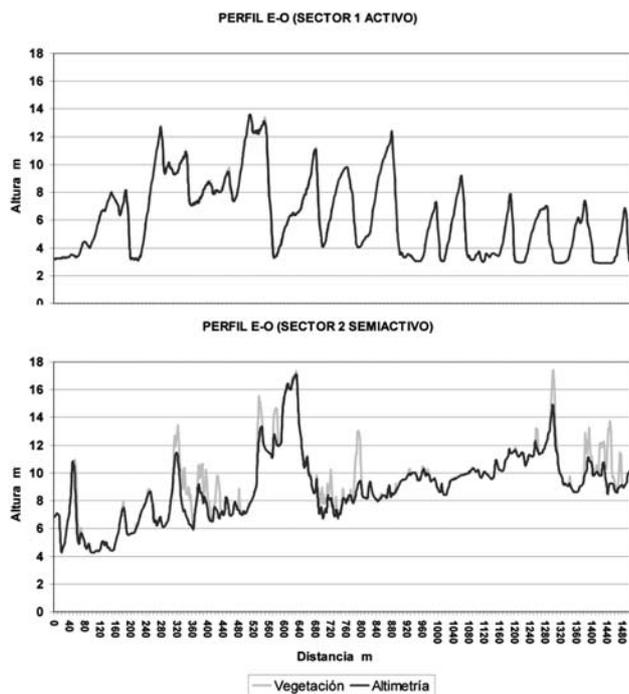


Figura 4.- Perfiles topográficos sobre los dos sectores del sistema

análisis de las orientaciones de las mismas; ambos aspectos se muestran en la figura 5. Cabe destacar el marcado contraste que vuelven a mostrar los dos sectores diferenciados. En el sector 1, las pendientes por encima de 15° se orientan mayoritariamente hacia

el oeste, poniendo de manifiesto el claro carácter transversal que muestran los frentes de avance de las dunas activas. Tan sólo en la zona norte de la Playa del Inglés se puede observar la presencia de dunas piramidales, con una distribución circular de sus pendientes, que son el resultado de la aparición de especímenes de *Traganum moquinii* en la playa alta, que retienen temporalmente el sedimento y contribuyen a la formación de este tipo de dunas de carácter embrionario (Hernández, 2002).

Por el contrario, en el sector 2 las pendientes superiores se orientan hacia el norte y el sur, dejando ver un cierto patrón longitudinal en las formaciones dunares que sin duda tiene que ver con la influencia de la vegetación y que representan un claro signo de la ausencia de frentes de avance en este sector del sistema dunar. Así, mientras las caras a barlovento y sotavento (E-O) de las dunas con vegetación presentan pendientes relativamente suaves por la acumulación de arenas, las caras norte y sur se definen con pendientes abruptas fruto de la acción erosiva. Al contrario de lo que ocurría en el sector 1, las zonas de menor pendiente no aparecen regularmente distribuidas entre alineaciones de dunas transversales, sino las arenas activas, entendiéndose por estas las que conforman las morfologías dunares y lo mantos de arena situados sobre una base o superficie subyacente. Ambos tipos de formaciones serán por tanto depósitos de arenas sueltas con grados de actividad eólica más o menos intensos, pero sin la compactación que presentan otros depósitos

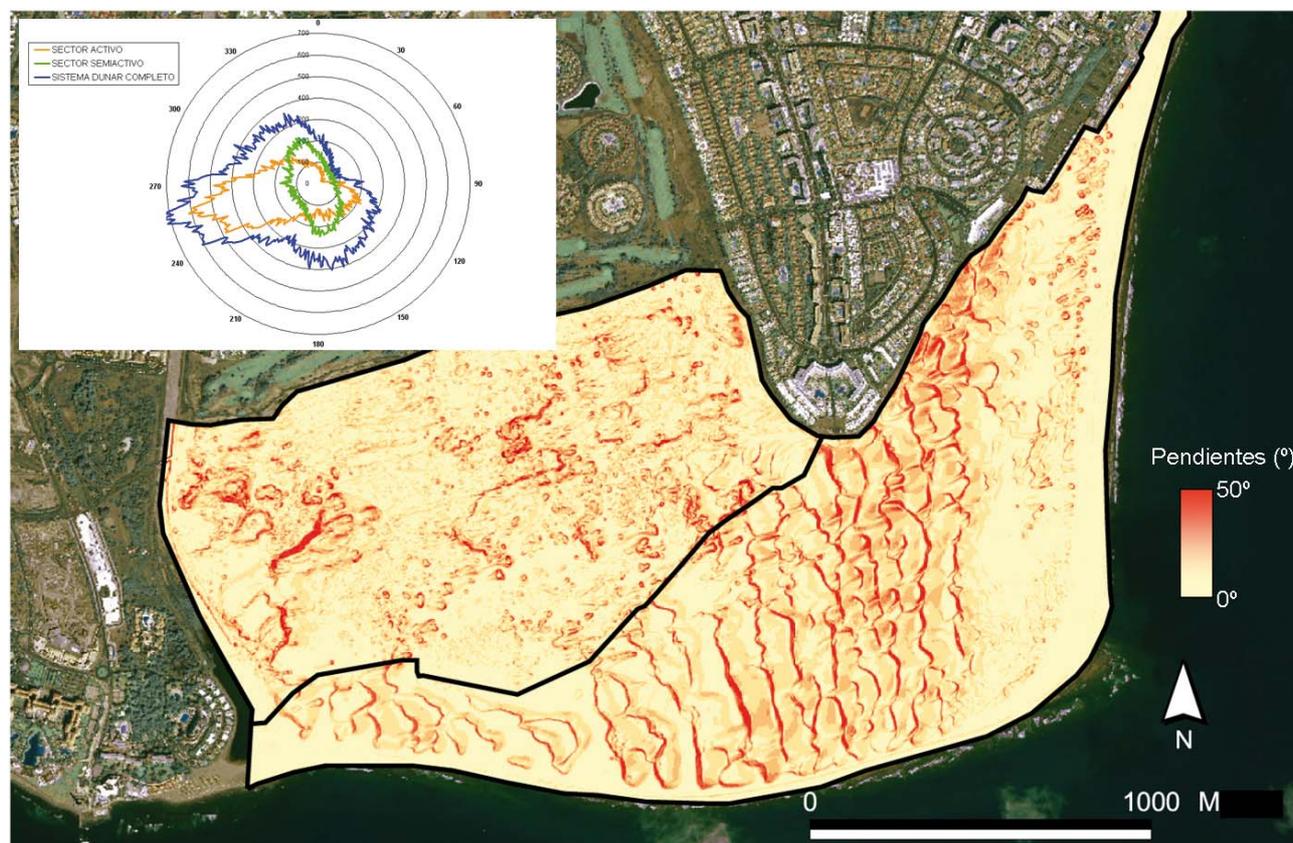
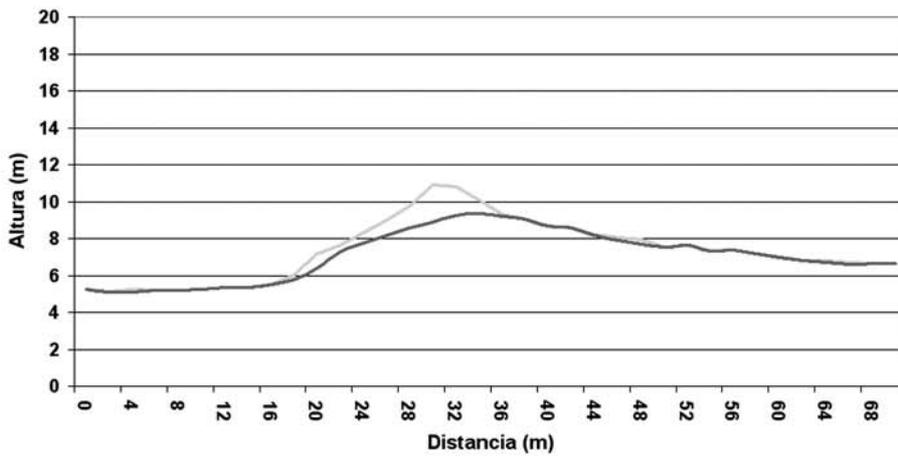


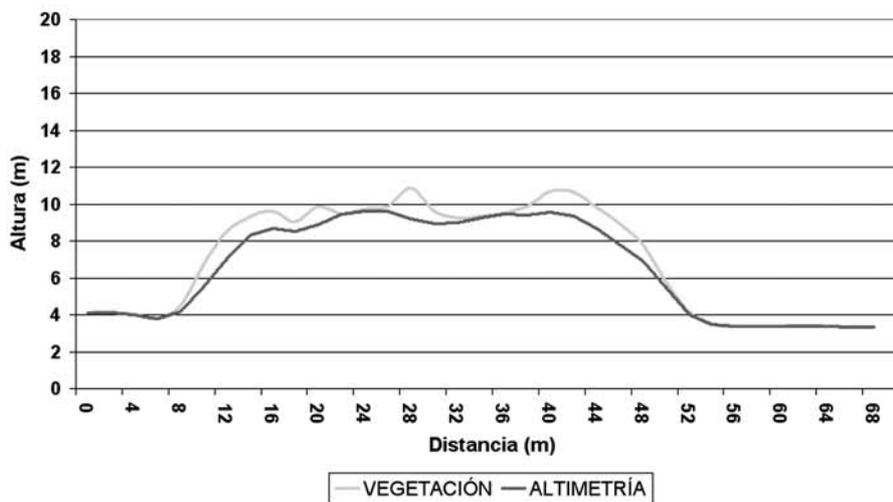
Figura 5.- Mapa de pendientes y grafico de frecuencia de pendientes superiores a 15° según su orientación.



PERFIL E-0 EN DUNA RESIDUAL



PERFIL N-S EN DUNA RESIDUAL



— VEGETACIÓN — ALTIMETRÍA

Figura 6.- Detalle de la ortoimagen y perfiles topográficos en torno a una duna residual del sector semiactivo.

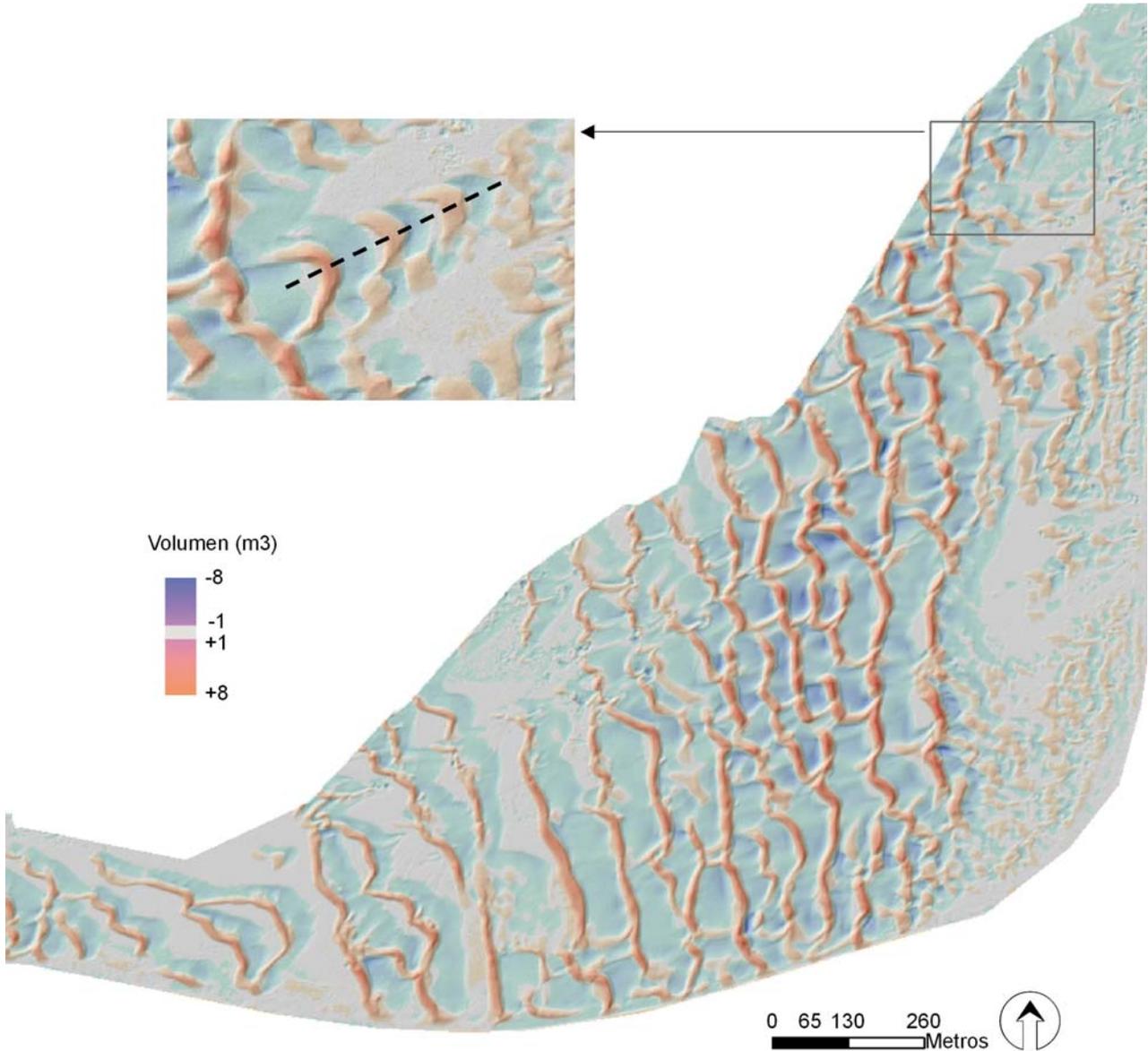


Figura 8.- Tasas volumétricas en el sector de las dunas activas en el periodo de estudio.

Discusión y Conclusiones

A nivel metodológico es necesario resaltar la idoneidad de los datos procedentes de sensores LIDAR en el estudio de los sistemas dunares, siendo especialmente atractiva la perspectiva multitemporal en los casos en los que dichos sistemas exhiben altos niveles de actividad eólica.

Desde la óptica de la caracterización morfométrica, la información derivada de los datos LIDAR ha permitido establecer diferencias muy significativas entre las morfologías dunares de los dos sectores que componen el sistema, diferencias que abarcan las altitudes y su distribución en uno y otro sector y, sobre todo, una manifiesta distinción en las orientaciones de las pendientes más acusadas que revelan una clara diferenciación en la tipología de dunas presente en cada zona

Por lo que se refiere al volumen total de sedimentos, la cifra total de 14.121.742 m³ contrasta

con la que se da en otros estudio, donde la misma se eleva a 18.636.157 m³ (Fontán *et al.*, 2007). La importante diferencia entre ambas estimaciones se

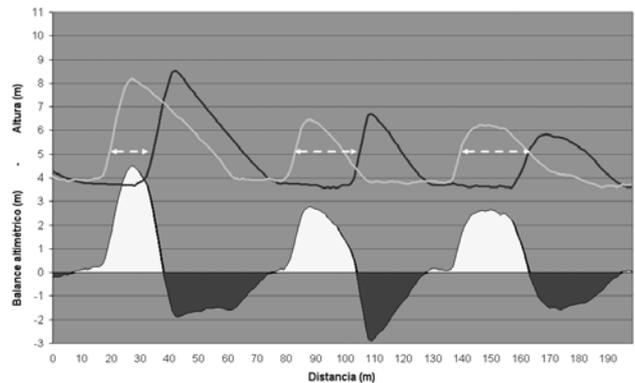


Figura 9.- Perfiles altimétricos en las fechas de referencia (negro-2006/ gris-2008) y balance altimétrico entre ambos (blanco-positivo/negro-negativo).

debe, fundamentalmente, a la diferente metodología seguida en ambos estudios. Así, en el presente trabajo el volumen se refiere a las arenas activas, conformadoras en la actualidad de depósitos eólicos en forma de dunas o mantos de arena que se sitúan por encima de una superficie de base cuyas características la dejan al margen de la dinámica eólica en el momento presente. Por el contrario, en los trabajos donde el volumen asignado resulta sustancialmente más elevado, la técnicas geofísicas empleadas permiten incorporar un espesor de arenas mayor, definido por el nivel del muro de las mismas que, en determinados sectores supera los 20 metros de profundidad; esta parte de los depósitos, a pesar de no estar afectados por la dinámica eólica actual, son interpretados como una reserva sedimentaria susceptible de ser removilizada por el viento (Fontán *et al.*, 2008).

En cuanto al balance sedimentario que tiene lugar en el periodo de estudio, que se ha ajustado a una tasa anual de $-98.237 \text{ m}^3/\text{año}$, debe señalarse su correspondencia con las hipótesis y observaciones más generalizadas, que señalan una manifiesta tendencia erosiva en este sistema dunar (Hernández *et al.*, 2007).

Agradecimientos

Esta investigación ha sido posible gracias al proyecto I+D: «Consecuencias ambientales inducidas por el desarrollo turístico en espacios insulares: alteraciones de los procesos naturales en sistemas de dunas litorales de Canarias y Cabo Verde (SEJ2007-64959-GEOG)», financiado a través de fondos FEDER y del Ministerio de Ciencia e Innovación.

Referencias

- Alcántara-Carrió, J.; Fontán, A.; Cóllega, L.; Álvarez, J.A.; Poveda, J.M. y Peña, M.A. (2007): Determinación geofísica del espesor de arenas en reserva dunar de Maspalomas (Sur de Gran Canaria, Islas Canarias). En *Contribuciones al estudio del periodo Cuaternario* (Lario, J y Silva P.J. Eds.) AEQUA. Ávila, 71-72.
- Brock, J.C.; Krabill, W. B.; Sallenger, A. H. (1999): Aircraft laser altimetry for coastal process studies, in Proceedings of the 4th International Symposium on Coastal Engineering and Science of Coastal Sediment Processes, v. 3, 2414-2428.
- Fontán, A., Alcántara-Carrió, J. y Corbí, A. (2008): Geodinámica de las playas de Maspalomas y El Inglés, potencia sedimentaria y evolución geomorfológico reciente. En *Trabajos de geomorfología en España 2006-2008* (Benavente, J y Gracia, F.J. Eds.) SEG. Cádiz, 291-294.
- Nadal, I. y Guitián, C. (1983): *El sur de Gran Canaria: entre el turismo y la marginación*; Cuadernos Canarios de Ciencias Sociales, nº 9, Centro de investigación económica y social de la Caja Insular de Ahorros, Madrid, 236 p.
- Hernández Calvento, L. (2002): *Análisis de la evolución del sistema de dunas de Maspalomas, Gran Canaria, Islas Canarias (1960-2000)*; Tesis Doctoral (Inédita), Departamento de Geografía de la ULPGC, 408 pp.
- Hernández, L. y Mangas, J. (2004): Caracterización de los materiales sedimentarios aflorantes en el sistema de dunas de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias). En *Procesos geomorfológicos y evolución costera* (Blanco-Chao, R.; López Bedoya, J. y Pérez Alberti, A. Eds.). Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, 67-81.
- Hernández, L., Ruiz, P., Pérez-Chacón, E., Alonso, I., Alcántara-Carrió, J. y Suárez, C. (2005): Transformaciones ambientales en ecosistemas dunares producidas por el desarrollo turístico: el ejemplo de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias). En *Geomorfología litoral y Cuaternario*. (Sanjaume, E. y Mateu, J. F. Ed.) Universitat de Valencia, Valencia, 203-214.
- Hernández Calvento, L. (2006): *Diagnóstico sobre la evolución del sistema de dunas de Maspalomas (1960-2000)*. Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria, 361 p.
- Hernández, A., Hernández, L., Pérez-Chacón, E., Máyer, P., Romero, L., Alonso, I., Sánchez, I., Martín, M., Medina, S. y Miranda, Y. (2006a): Seguimiento de la dinámica de dunas litorales en la playa de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias, España). En *Geomorfología y territorio* Pérez-Alberti, A. y López Bedoya, J. Eds.). Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, 389-400.
- Hernández, L.; Alonso, I.; Sánchez-Pérez, I.; Alcántara-Carrió, J. y Montesdeoca, I. (2007): Shortage of sediments in the Maspalomas dune field (Gran Canaria, Canary Islands) deduced from analysis of aerial photographs, foraminiferal content, and sediment transport trends. *Journal of Coastal Research*, 23(4), 993-999.
- Martínez, J.; Carpio, P.; Gómez, M.; Hernández, T. y Mena, A. (1986): *Las Dunas de Maspalomas: Geología e impacto del entorno*. Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria y Universidad Politécnica de Canarias, Las Palmas de Gran Canaria, 151 p.
- Mitasova, H., Overton, M., Harmon, R.S. (2005): Geospatial analysis of a coastal sand dune field evolution: Jockey's Ridge, North Carolina. *Geomorphology* 72: 204-221.
- Ojeda Zújar, J., Márquez Pérez, J. y Gómez, A. (2006): Restitución analítica, estereocorrelación y Lidar para la generación de Modelos digitales de terreno en marismas mareales. En *El acceso a la información espacial y nuevas tecnologías geográficas* (Camacho, M.T; Cañete, J.A; Lara, J.J., Eds.). Editorial de la Universidad de Granada: 1121-1134.
- Ojeda Zújar, J.; Vallejo Villalta, I.; Hernández Calvento, L. y Álvarez Francoso, J. (2007). 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.*, 44: 215-233.
- Saye, S. E.; van der Wal, D.; Pye, K.; Blott, S. J. (2006): Beach-dune morphological relationships and erosion/accretion: an investigation at five sites in England and Wales using LIDAR data. *Geomorphology* 72 (1-4): 128-155
- Vallejo, I. y Ojeda, J. (2008): Cambios recientes en la dinámica eólica del sistema de dunas activas del Parque Nacional de Doñana. En *Trabajos de geomorfología en España 2006-2008* (Benavente, J y Gracia, F.J. Eds.) SEG. Cádiz, 287-290.

Manuscrito recibido el 6 de julio de 2009

Aceptado el manuscrito revisado el 9 de octubre de 2009

