

---

---

## XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica 25, 26 y 27 de Junio de 2014. Alicante.

---

---

### Aplicación de TIG en la generación de indicadores de calidad ambiental de sistemas playa-dunas

Antonio I. Hernández-Cordero<sup>a</sup>, Javier Martín-Abasolo<sup>a</sup>, Luís Leite<sup>b</sup>, Nauzet Hernández Hernández<sup>a</sup>, Javier Arístegui Ruiz<sup>a</sup>, Rosana Álvarez Vázquez<sup>b</sup> y Luis Hernández-Calvento<sup>\*a</sup>

<sup>a</sup>*Instituto de Oceanografía y Cambio Global (IOCAG). Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*

<sup>b</sup>*elitoral Estudios de Ingeniería Costera y Oceanográfica, Edificio Polivalente II del Parque Científico Tecnológico*

---

#### Resumen

Se presentan resultados parciales del subproyecto “Ecosistemas y Biodiversidad: vigilancia de espacios arenosos protegidos de Canarias y África”, incluido en el 'Programa para el desarrollo de redes tecnológicas y de aplicación de datos de teledetección en África Occidental', TELECAN (MAC/3/C181), financiado por el Programa de Cooperación Transnacional Madeira-Azores-Canarias (MAC) 2007/2013. El objetivo principal era definir, mediante el uso de imágenes de satélite, indicadores de calidad ambiental para sistemas playa-dunas, al ser éstos espacios fundamentales en el desarrollo socio-económico de estos territorios, dado su atractivo turístico. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos para una de las áreas piloto, Maspalomas (Gran Canaria, islas Canarias). Los indicadores se obtuvieron mediante el procesado de imágenes del satélite WorldView-2, con validación, en 2013, mediante campañas marinas. Asimismo, se utilizaron imágenes de archivo, correspondientes a los años 2010, 2011 y 2012. Estos indicadores se basaron en variables relacionadas con las características físicas y biológicas de las aguas litorales y de las playas y dunas. Los resultados indican una calidad, por lo general, alta y muy alta, tanto para el medio terrestre como para el marino, con superficies dentro de estas categorías del 20,3% y 75,3% y del 26,1% y 70,6%, respectivamente.

---

\* *E-mail* : [lhernandez@dgeo.ulpgc.es](mailto:lhernandez@dgeo.ulpgc.es)

Palabras clave: teledetección; sistemas playa-dunas; diagnóstico ambiental; indicadores marinos, indicadores terrestres, WorldView.

## 1. Introducción

En la última década, distintos estudios han puesto de relieve distintos problemas ambientales que están teniendo lugar en sistemas de playas y dunas de Canarias y Cabo Verde (Hernández y Suárez, 2006; Hernández Calvento, 2006; Hernández et al., 2007; Cabrera et al., 2013). Este hecho tiene consecuencias negativas para las poblaciones locales, dado que estos sistemas funcionan como barreras frente a la acción del mar, además de constituir espacios fundamentales en el desarrollo socio-económico de estos territorios, dado su atractivo turístico. En este contexto, surge el subproyecto "Ecosistemas y biodiversidad: vigilancia de espacios arenosos protegidos de Canarias y África", en el marco del 'Programa para el desarrollo de redes tecnológicas y de aplicación de datos de teledetección en África Occidental', TELECAN (MAC/3/C181), financiado por el Programa de Cooperación Transnacional Madeira-Azores-Canarias (MAC) 2007/2013. El objetivo principal de este subproyecto era desarrollar una aplicación informática que permitiera evaluar la calidad ambiental de espacios naturales protegidos arenosos mediante teledetección de alta resolución. Se pretendía que esta herramienta pusiera a disposición de los usuarios los parámetros necesarios para monitorizar de forma adecuada los espacios naturales protegidos arenosos y sus aguas costeras próximas. En esta comunicación se exponen resultados parciales, como es la determinación de indicadores de calidad ambiental para los sistemas playas-dunas, utilizándose como ejemplo el de Maspalomas (Gran Canaria, islas Canarias) (figura 1).

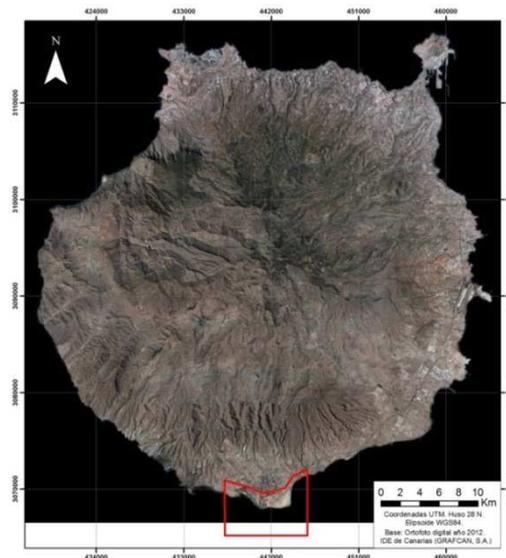


Fig 1. Localización de los sistemas de dunas de Maspalomas.

## 2. Metodología, materiales, datos y herramientas

El sensor que se utilizó para el desarrollo del proyecto fue WorldView-2, que presenta 8 bandas y una resolución espacial de 2 metros en multiespectral y 0,5 metros en pancromático. Se hizo uso de imágenes de satélite tanto de archivo (14-03-2010, 20-02-2011 y 9-05-2012) como programadas (17-01-2013 y 11-08-

2013). Las imágenes fueron corregidas atmosférica y geométricamente. Los indicadores considerados para valorar la calidad ambiental fueron, en cuanto a los indicadores terrestres: variación de la superficie ocupada por arenas humedecidas, evolución de la superficie ocupada por la vegetación y evolución de la superficie ocupada por equipamientos e infraestructuras humanas; en cuanto a los marinos: clorofila a (CHI-a), material particulado total (TSM) y materia orgánica coloreada (CDOM).

## 2.1. *Procesado de las imágenes de satélite*

### 2.1.1. *Parámetros terrestres*

Para la obtención de los parámetros superficie ocupada por la vegetación no estacional y la superficie ocupada por arenas humedecidas, se hizo uso del procesado multiespectral, mediante técnicas de unmixing utilizando el cálculo de end-members y abundancias. Para la obtención del parámetro equipamientos e infraestructuras humanas en los espacios arenosos se usaron filtros de detección de bordes en las imágenes pancromáticas.

En el procesado multiespectral se ha implementado el modelo lineal de mezcla (Fully Constrained LSU, lineal mixing model), que tiene como propiedades que la suma de las abundancias de los end-members es = 1, y que las abundancias se sitúan en un rango entre [0 – 1]. La definición de los end-members se muestra a continuación. Como se puede observar se modeló la existencia de dos tipos de vegetación, vigorosa y seca, dado que no interesaba el estado de la vegetación, sino detectar la presencia de la misma, se sumaron las abundancias de las dos. Además, para eliminar la existencia de vegetación estacional, hierbas de poca densidad mezcladas con la arena, se restó la abundancia de la arena para obtener el índice. Una vez calculado el índice se obtuvo una máscara de vegetación mediante el uso de un umbral, que variaba entre 0.25 y 0.5. Para la obtención del índice de zonas humedecidas se utilizó los end-members de agua y arena. Si la proporción de agua/(agua+arena) era superior a 0.5 e inferior a 0.95, se le asignaba el valor de máscara de zonas humedecidas; de lo contrario se le asignaba el valor 0.

Para el caso del parámetro de equipamientos e infraestructuras se usaron las imágenes pancromáticas, haciendo uso de un filtro de obtención de bordes “sober”. Una vez filtradas, se generó una imagen máscara con los valores de los bordes cuando son superiores a un cierto umbral, que podía variar, dependiendo de las imágenes.

### 2.1.2. *Parámetros marinos*

Para el estudio de los parámetros marinos se usó el modelado radiativo, adaptado a los canales del WorldView-2, en donde se estudiaron las propiedades ópticas inherentes del agua marina y de sus principales componentes (CHI-a, TSM, CDOM). El algoritmo elegido para el modelado fue el QAA (Quasi Analytical Algorithm), que permite modelar la reflectividad del agua marina según estos tres parámetros fundamentales de la calidad del agua. El modelado se realizó de la siguiente forma:

$$R(\lambda) = \frac{Rrs(\lambda)}{0.52 + 1.7 * Rrs(\lambda)} \quad (1)$$

$$R^{QAA}(\lambda) = g_0 * \left( \frac{b_b(\lambda)}{a(\lambda) + b_b(\lambda)} \right) + g_1 * \left( \frac{b_b(\lambda)}{a(\lambda) + b_b(\lambda)} \right)^2$$

$$a(\lambda) = a_w(\lambda) + a_{ph}(\lambda) + a_g(\lambda), b_b(\lambda) = b_{bw}(\lambda) + b_{bp}(\lambda),$$

Donde,  $R(\lambda)$  es la reflectividad justo por debajo de la superficie del agua, y  $Rrs(\lambda)$  es la reflectividad de la superficie del agua corregida atmosféricamente.  $R^{QAA}(\lambda)$  es la reflectividad generada por el modelo,  $g_0 = 0.089$  y  $g_1 = 0.125$  son constantes de la función cuadrática.  $a_w(\lambda)$  es la atenuación de agua marina y  $b_{bw}(\lambda)$  es el backscattering de agua marina.

Una vez calculado las constantes  $a_w$  y  $b_{bw}$  para los seis primeros canales del WorldView-2, se procedió a modelar el comportamiento de los parámetros de atenuación  $a_{ph}$  y  $a_{gp}$ , y el backscattering  $b_{bp}$  para los diferentes canales del WorldView-2. El coeficiente de absorción  $a_{ph}(\lambda)$  es obtenido mediante un modelo de parámetro simple que simula el espectro de atenuación de la clorofila.

$$a_{ph}(\lambda) = [a_0(\lambda) + a_1(\lambda) * \ln(P)] * P \quad (2)$$

Donde,  $P = a_{ph}(440)$  es el coeficiente de absorción de la clorofila a los 440 nm, y  $a_0(\lambda)$  y  $a_1(\lambda)$  son coeficientes empíricos.

El coeficiente de atenuación por substancia amarilla o gelbstoff  $a_g(\lambda)$  puede ser expresado como:

$$a_g(\lambda) = G * \exp[-S * (\lambda - 440)] \quad (3)$$

Donde,  $G = a_g(440)$  es el coeficiente de absorción gelbstoff a 440nm, y  $S$  es la pendiente espectral, en un rango entre 0.01 – 0.02 nm<sup>-1</sup>.

El parámetro de backscattering  $b_{bp}(\lambda)$  puede ser expresado de la siguiente manera:

$$b_{bp}(\lambda) = X * \left( \frac{400}{\lambda} \right)^Y \quad (4)$$

Donde,  $X = b_{bp}(400)$  es el coeficiente de backscattering por partículas a 400 nm, e  $Y$  es el parámetro de spectral shape, en un rango entre 0 – 3.

Por lo tanto, se obtuvo un sistema de seis ecuaciones no-lineales y 3 incógnitas ( $P, G, X$ ), las cuales fueron resueltas mediante métodos de optimización, obteniéndose las atenuaciones debidas a la CHL-a, TSM, y CDOM. Finalmente se puede aproximar mediante curvas de regresión los valores de atenuación de la clorofila y la turbidez a valores de concentración, que son los datos manejados en la obtención de los datos in-situ. De

esta forma, se pudieron validar los resultados. Para la conversión de concentraciones se utilizaron los valores empleados en los algoritmos del Meris para aguas tipo dos.

$$\begin{aligned} \text{CHL-a (ug/l)} &= 21 * (a_{ph})^{1.04} \\ \text{TSM (mg/l)} &= 115.3 * (b_{bp}) \end{aligned} \quad (5)$$

## 2.2. Validación de los datos obtenidos mediante teledetección

Los parámetros terrestres fueron validados mediante los datos obtenidos con la fotointerpretación de las imágenes de satélite. La información de los diferentes parámetros estudiados fue digitalizada en un sistema de información geográfica, generándose una capa en formato vectorial que permitió su comparación con los datos obtenidos mediante el procesado de imágenes de satélite.

Por su parte, los parámetros del medio marino, obtenidos mediante el procesado de las imágenes de satélite, fueron validados con la realización de dos campañas oceanográficas, inmediatas a la toma de las imágenes de satélite programadas (19 de enero y 12 de agosto de 2013). Para el muestreo se utilizó una malla de 24 puntos que describe 8 transectos con tres puntos cada uno, en las cotas -5, -15 y -20 metros. En estos puntos se tomaron muestras de agua (sobre las que se determinaron posteriormente los valores de los indicadores marinos seleccionados) y se realizaron lances con una sonda multiparamétrica, con la que se obtuvieron diferentes valores in situ (concentración de clorofila a, turbidez, oxígeno disuelto, temperatura, salinidad, conductividad). Todos estos valores fueron graficados, obteniendo los perfiles en profundidad de los parámetros para cada punto de muestreo. En total se recogieron 240 muestras para el posterior análisis de laboratorio, y se hicieron 48 lances de sonda multiparamétrica entre las dos campañas.

## 2.3. Indicadores de calidad ambiental del medio terrestre

Los indicadores terrestres se calcularon mediante el siguiente procedimiento (figura 2): una vez obtenido cada parámetro de forma independiente, se calcularon sus respectivos indicadores, analizando los cambios para periodos consecutivos: 2010-2011, 2011-2012 y 2012-2013. Asimismo, se calcularon los cambios para el periodo que transcurre entre la fecha inicial y final, es decir, 2010-2013.

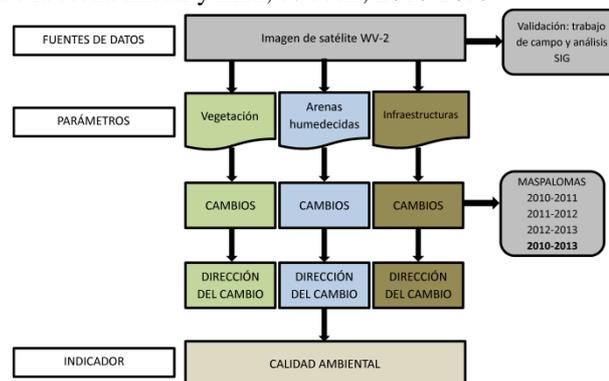


Fig 2. Procedimiento para la obtención de los indicadores de calidad ambiental del medio terrestre.

Para generar el indicador de calidad ambiental, calculado para el periodo 2010-2013, se procedió de la siguiente forma: en primer lugar se determinó la dirección del cambio, es decir, si éste era positivo, negativo o neutro (tabla 1). Para ello, se consideró que el incremento de cualquiera de los tres parámetros analizados resultaba negativo, mientras que una reducción era positiva. En la siguiente tabla se presenta los resultados posibles de las combinaciones de las direcciones de cambio:

Tabla 1. Generación de la dirección de cambio y obtención final de la calidad ambiental.

Parámetro	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Superficie vegetación	Negativo	Neutro	Positivo	Negativo	Negativo	Neutro	Positivo
Superficie arenas humedecidas	Negativo	Neutro	Positivo	Positivo	Negativo	Neutro	Neutro
Equipamientos e Infraestructuras	Negativo	Neutro	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo	Negativo
<b>CALIDAD AMBIENTAL</b>	<b>Deficiente</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Insuficiente</b>	<b>Deficiente</b>	<b>Insuficiente</b>	<b>Insuficiente</b>

En aquellos píxeles donde no se identificaba ninguno de los tres parámetros analizados, debido a que no existía ni vegetación, ni arenas humedecidas, ni infraestructuras, se consideró que la calidad ambiental era muy alta.

#### 2.4. Indicadores de calidad ambiental del medio marino

Para calcular los indicadores de calidad ambiental correspondientes al medio marino, previamente se establecieron los umbrales que determinan la calidad del agua. Estos umbrales se basaron en la ROM 5.1-13 (recomendaciones de obras marítimas de Puertos del Estado), estableciéndose las siguientes categorías:

CHI-a (U/l): < 1.5 muy alta; 1.5 a 2.5 alta; 2.5 a 5 insuficiente; 5 a 8 deficiente; > 8 muy deficiente.

Turbidez (NTU): < 2 muy alta; 2 a 6 alta; 6 a 9 insuficiente; 9 a 12 deficiente; > 12 muy deficiente.

Por su parte, los valores de CDOM, al no existir rangos de clasificación previos, fueron establecidos por el equipo de investigación de la siguiente forma: <0.05 Muy alta: valores medios que encontramos en los centros de los giros; 0.05 a 0.1; Alta: aguas oligotróficas; 0.1 a 0.5; insuficiente: afloramiento y charca; 0.5 a 1 Deficiente: desembocaduras de ríos y lagos; >1 Muy Deficiente.

Con estos umbrales se establecieron las categorías de calidad ambiental para cada fecha analizada.

### 3. Resultados

La figura 3 muestra la calidad ambiental para el medio terrestres de Maspalomas. La mayor parte del campo de dunas muestra una calidad ambiental muy alta o alta. Además, no se han detectado zonas con calidad deficiente. Las áreas con calidad insuficiente están asociadas principalmente a la aparición de superficies de deflación, que son indicadores de procesos de erosión de las dunas.

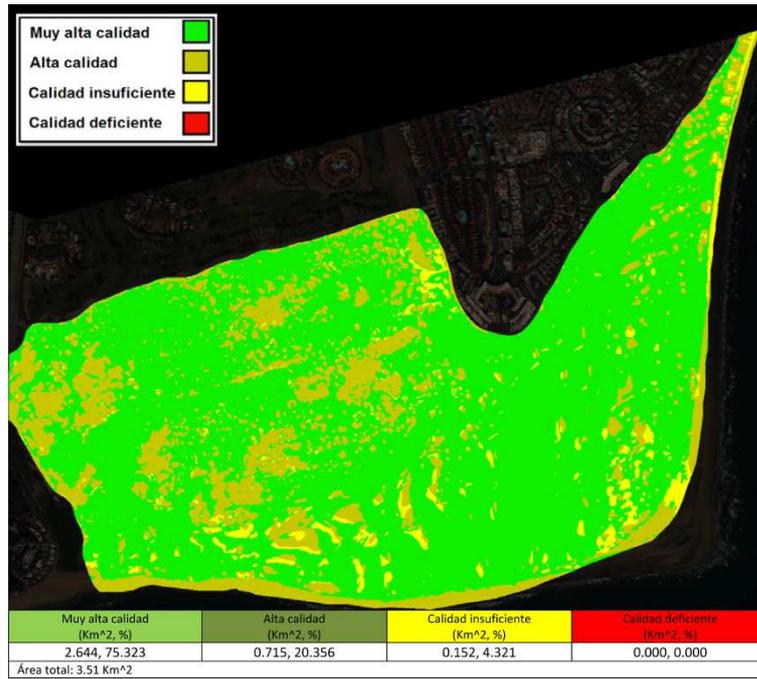


Fig 3. Calidad ambiental del medio terrestre del sistema de dunas de Maspalomas en el periodo 2010-2013.

En la figura 4 se muestra un ejemplo de los resultados del cálculo de los indicadores marinos para el año 2013. Se incluye también la laguna litoral que se localiza en la desembocadura del barranco de Fataga, conocida como Charca de Maspalomas.

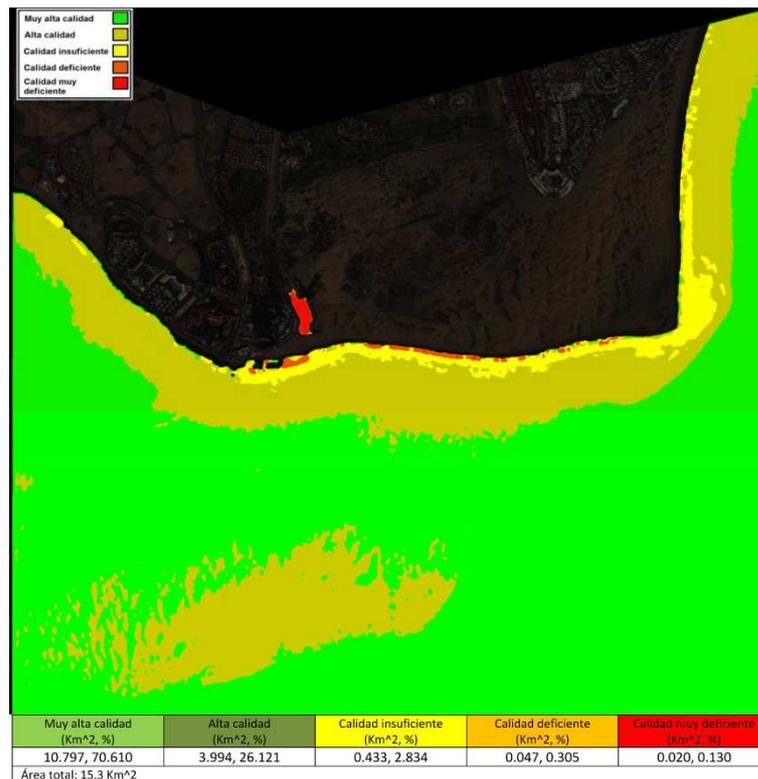


Fig 4. Calidad ambiental del medio marino de Maspalomas en el año 2013.

Como se puede comprobar la mayor parte del medio marino presenta una calidad muy alta (70,6%) o alta (26,1%). Las zonas con calidad insuficiente, deficiente o muy deficiente se localizan fundamentalmente en las zonas más cercanas a la costa. Esta menor calidad ambiental se relaciona principalmente con la turbidez de la orilla. Además, la charca de Maspalomas presenta una calidad ambiental muy deficiente.

#### 4. Discusión

Los indicadores de calidad ambiental propuestos permiten detectar alteraciones en el medio natural, marino y terrestre, utilizando para ello imágenes de satélite de muy alta resolución espacial. Normalmente para cálculos de la calidad de las aguas marinas se han utilizado sensores de baja y alta resolución espacial (Moreira et al., 2009). Este tipo de análisis resultan de interés para el seguimiento del estado de conservación de entornos naturales que experimentan una gran presión humana, como ocurre en el campo de dunas de Maspalomas. Por su parte, los parámetros marinos utilizados para obtener los indicadores de calidad, como la clorofila-a y la turbidez, han demostrado su utilidad para determinar el estado de las aguas marinas (Ojeda Zújar et al., 1994; Moreira et al, 2009). Otro parámetro que suelen utilizarse es la temperatura, que no fue considerado en este estudio por la imposibilidad del sensor WorldView-2 de captar radiación en el infrarrojo térmico.

Por lo que respecta a los parámetros terrestres, podría parecer adecuado considerar otros, además de los utilizados en este estudio, con el fin de realizar valoraciones más completas de la calidad ambiental. Se hace necesario, por ello, continuar las investigaciones en esta línea.

## 5. Conclusiones

Las imágenes de satélite de muy alta resolución espacial procedentes del sensor WorldView-2 mostraron una gran potencialidad para calcular indicadores de calidad ambiental en sistemas de playa-duna. Estos indicadores fueron ideados por los investigadores del proyecto. Las variables utilizadas se relacionan con las características físicas y biológicas de las aguas litorales (clorofila a, material particulado y CDOM) y de playas y dunas (superficie ocupada por la vegetación, superficie ocupada por arenas humedecidas y superficie ocupada por equipamientos e infraestructuras). Los indicadores de calidad ambiental mostraron el estado de conservación de la parte marina y terrestre del sistema de dunas de Maspalomas. Predominó la calidad ambiental alta o muy alta. La calidad ambiental menor para el medio terrestre está relacionada con la formación de superficies de deflación, que indican procesos erosivos de las dunas. Por su parte, la menor calidad ambiental para el medio marino se debe a la turbidez.

## Agradecimientos

Esta es una contribución del 'Programa para el desarrollo de redes tecnológicas y de aplicación de datos de teledetección en África Occidental', TELECAN (MAC/3/C181), financiado por el Programa de Cooperación Transnacional Madeira-Azores-Canarias (MAC) 2007/2013.

## Referencias

- Cabrera-Vega, L.L., Cruz-Avero, N., Hernández-Calvento, L., Hernández-Cordero, A.I. & Fernández-Cabrera, E. 2013. Morphological changes in dunes as an indicator of anthropogenic interferences in arid dune fields. *Journal of Coastal Research*, SI 65, 1271-1276.
- Hernández-Calvento, L. (2006). *Diagnóstico sobre la evolución del sistema de dunas de Maspalomas (1960-2000)*. Cabildo de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria.
- Hernández, L. & Suárez, C. (2006). Characterization of the contemporary aeolian sediment dynamics of Boa Vista (Cape Verde). *Journal of Coastal Research*, SI 48, 64-68.
- Hernández, L., Alonso, I., Sánchez-Pérez, I., Alcántara-Carrió, J. & 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, 993-999.
- Moreira, J.M., Carpintero, I.R., Crespo, R., Granada, L., Montoya, G., Pino, I. & Rodríguez, A. (2009). Generación de indicadores para el seguimiento de la calidad de las aguas litorales. Evolución de la turbidez en la desembocadura del río Guadalquivir. In: S. Montesinos Aranda & L. Fernández Fornos (Eds.), *Teledetección: agua y desarrollo sostenible. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección* (pp. 197-200). Calatayud.
- Ojeda Zújar, J., Fernández-Palacios Carmona, A., Moreira Madueño, J.M. & Sánchez Rodríguez, E. (1994). Programa de seguimiento de la calidad y dinámica del espacio marino y litoral a través de imágenes de satélite. Andalucía. Agencia de medio ambiente. Revista de Teledetección, 5, 9-15.