

Caracterización y modelos de funcionamiento del sistema playa-duna en el Parque Nacional de Doñana (Huelva, España)

D. García e I. Vallejo

Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Universidad de Sevilla.

ivallejo@us.es

RESUMEN

La duna costera constituye un elemento clave que conjuga funciones geomorfológicas, ecológicas y de protección. A pesar de ello se ha visto sometida a grandes presiones y alteraciones que en muchos casos han supuesto su total desaparición. Frente a estas situaciones generalizadas, en las últimas décadas se han iniciado políticas de conservación, recuperación y restauración, para las que resulta esencial un mayor conocimiento de estas formaciones. Un aspecto crucial de este conocimiento son los modelos de funcionamiento y los sistemas de clasificación que posibilitan caracterizaciones más precisas de los diferentes tramos de dunas a lo largo de la costa. Modelos como los de Hesp (2002) o Psuty (2004) tratan de forma integrada el sistema playa-duna y resultan válidos en determinados entornos; no obstante, es indispensable un mayor número de estudios y aplicaciones locales para validarlos y adaptarlos a situaciones específicas. Este trabajo se centra en la duna costera del P. N. de Doñana y establece una tipificación de esta formación a lo largo de sus 26 kms de costa. Para ello, se hace uso de una combinación de técnicas con las que se extrae una extensa colección de datos que son tratados en un entorno SIG y mediante herramientas estadísticas multivariantes para obtener una clasificación del sistema playa-duna interpretada a la luz de los modelos citados.

PALABRAS CLAVE

Duna costera, playa, modelo, cluster, Doñana.

ABSTRACT

Foredunes constitute key elements in coastal environments as they play essential roles from geomorphological, ecological and defensive point of view. In spite of this, they show a general state of pressure, alteration and even destruction due to human action. Nevertheless, last decades have seen new approaches dealing with conservation and restabliment of coastal dune environments for which broader research and knowledge are necessary. Conceptual models of beach-dune behaviour (Hesp, 2002; Psuty, 2004) represent critical points for this knowledge, as they may allow to distinguish among different foredune sectors along the coast, where different approaches and actions are needed for conservation and restauration initiatives. The main aim of this work is to analyze and classify the beach-dune system of Doñana National Park. To reach this objective a wide range of data is extracted by different techniques (photointerpretation, remote sensing, field work) making use of GIS and multivariate statistics for data analysis and classification.

KEY WORDS

Foredune, beach, model, cluster, Doñana.

1 INTRODUCCIÓN

La duna costera constituye un elemento clave en los ámbitos litorales en los que aparece, conjugando diferentes roles que afectan a la geomorfología, la ecología y la protección de dichos ámbitos, así como a su riqueza paisajística y cultural. A pesar de ello, dada su localización estratégica en la interfase marítimo-terrestre, este tipo de formaciones ha estado sometido a múltiples presiones a lo largo del tiempo, con resultados generalizados de intenso deterioro y degradación, e incluso de total destrucción de la duna costera en numerosos casos (Roig-Munar, 2012).

Ante este panorama generalizado, en las últimas décadas son constatables numerosas iniciativas que tratan de revertir esta situación desde aproximaciones que abogan por la conservación, la restauración o la rehabilitación de la duna costera. Para ello ha sido necesario un esfuerzo paralelo en el campo de la investigación, de tal forma que una mejora en el conocimiento y comprensión de estas formaciones redundara en unas más eficaces políticas de intervención sobre las mismas (García *et al.*, 2001). En este sentido, los modelos conceptuales de funcionamiento del sistema playa-duna (Hesp, 2002; Psuty, 2004), representan un tipo de herramienta de gran utilidad, por cuanto que persiguen, en última instancia, la tipificación y sectorización de estas formaciones en base a una consideración de su funcionamiento solidario e inseparable de las playas a las que se asocian (Saye *et al.*, 2006).

El presente trabajo continúa la investigación que se ha venido llevando a cabo sobre la duna costera del Parque Nacional de Doñana (Vallejo *et al.*, 2006), con la justificación de que la misma constituye uno de los elementos menos conocidos de este emblemático espacio, y por el convencimiento de que este conocimiento puede contribuir a una más eficiente aplicación de las medidas de gestión que se llevan a cabo en el parque.

El objetivo central del trabajo consiste en obtener una clasificación del sistema playa-duna del P.N de Doñana sobre la que se apoye una sectorización del mismo. Esta clasificación parte de los modelos conceptuales citados y se basa en la aplicación de técnicas de análisis multivariante sobre el conjunto de datos que de forma sistemática se han extraído del área de estudio.

2 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se inscribe en el sistema de dunas activas del P.N de Doñana que se

desarrolla sobre la gran flecha litoral del mismo nombre, y se extiende entre la localidad de Matalascañas, al norte, y la desembocadura del Guadalquivir, en su extremo sur (figura 1).

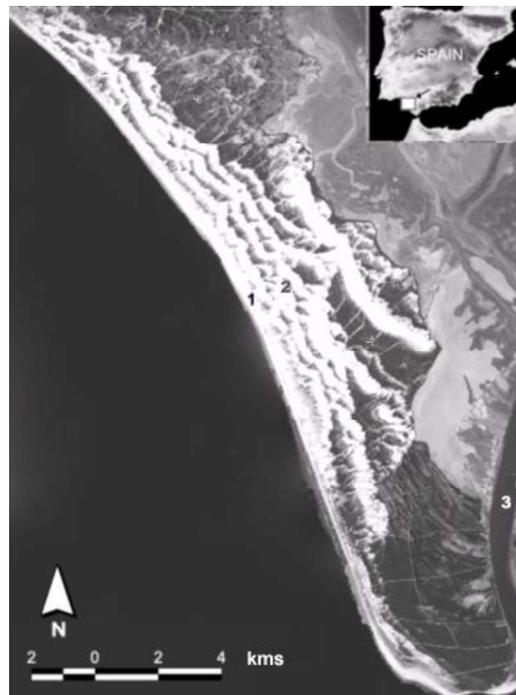


Figura 1. Localización general del área de estudio (1. Duna costera; 2. Dunas interiores; 3. Guadalquivir)

Dentro de esta macrounidad, el objeto de estudio queda definido por la unidad de la duna costera en la que se incluye la playa, así como las formaciones dunares contiguas a la misma, con las que mantiene una conexión sedimentaria activa. Esta formación paralela a la costa se forma gracias a la continua llegada de aportes arenosos a las playas del parque, así como por la movilización eólica que se produce por el predominio de vientos efectivos del SO.

En la unidad de la duna costera se distinguen a su vez tres subunidades dispuestas de forma paralela, que desde el mar son la playa, la duna primaria y la duna secundaria (figura 2). La duna primaria constituye un primer frente de dunas tras la playa alta, en la que dominan especies pioneras y constructivas (esencialmente *Ammophila arenaria*). Tras este primer frente se instala una más o menos extensa depresión interdunar que junto al cordón dunar de mayor envergadura al que da paso constituye la duna secundaria; en esta zona, la mayor protección frente al mar y el viento, suelen aparecer otras especies de porte arbustivo y, en general, una mayor riqueza de las comunidades vegetales (Vallejo, 2007).

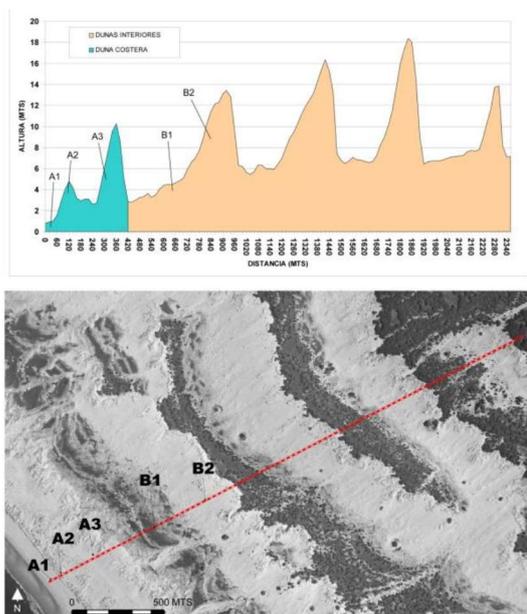


Figura 2. Unidades dunares en sistema de dunas activas de Doñana [A.- Duna costera: A1.-playa; A2.-Duna Primaria; A3.-Duna secundaria. B.- Dunas interiores: B1.- Depresión interdunar (corral); B2.- Duna transversal]

3 DATOS EMPLEADOS

3.1 Ortofotografías

Una parte sustancial del trabajo se apoya en la fotointerpretación multitemporal, para lo que se han empleado un conjunto de ortofotografías, obtenidas en todos los casos a través de servicios Web Mapping Services ofrecidos por la Red de Información Ambiental de la Junta de Andalucía (REDIAM).

Las ortofotografías utilizadas han sido las correspondientes a los siguientes vuelos:

1956: Conocida como Vuelo Americano, constituye la imagen aérea más antigua de calidad y cobertura suficiente para toda la zona de estudio. La escala de las ortofotos es de 1:33.000, con una resolución o tamaño de pixel de 1 m.

1977: Conocido como el Vuelo del IRYDA, ya que fue este organismo el encargado de su ejecución (Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario). Recientemente disponible en la REDIAM, constituye una fecha intermedia muy interesante, ya que se encuentra temporalmente próxima a varias actuaciones antrópicas tan importantes para la cuestión que nos ocupa, como la construcción del Espigón Juan Carlos I o el espigón de Punta Umbría. La escala del vuelo es de 1:18.000 y el tamaño de pixel de 0,5 m

1998: Ortofoto en color realizada a partir de un vuelo fotogramétrico a escala 1:60.000, presenta una resolución espacial de 1 m.

2008: Ortofotografía en color de 0,5 m de resolución. Cuenta con la peculiaridad de una división en zona norte (2009) y sur (2008) de Andalucía, en la que se ha dividido parte de la provincia de Huelva, entrando la zona del Parque Nacional en la zona sur (2008) y la zona del Parque Natural en la zona norte (2009).

La elección de estas fechas permite distinguir 3 etapas intermedias, lo que añade un valor extra al estudio. Dos de estas etapas son de 21 años (1956-1977 y 1977-1998) y la tercera de 10 (1998-2008).

3.2 Imagen Satélite

Junto con las ortofotografías se ha contado con una imagen satélite SPOT 5 de 2,5 m de resolución espacial, de fecha 08/07/2009. Para conseguir esta imagen se ha realizado la inscripción el Plan Nacional de Teledetección (PNT). En nuestro caso, hemos optado por las imágenes SPOT 5, ya que se trata del producto de mayor resolución espacial disponible por el momento en el PNT.

Las características de este satélite son las siguientes:

- Bandas Multiespectrales, correspondientes a Verde (0.50-0.59 μm), Rojo (0.61-0.68 μm), Infrarrojo Cercano (0.78-0.89 μm) e Infrarrojo Medio (SWIR, 1.58-1.75 μm). Cada banda con 10 m de resolución espacial, excepto el Infrarrojo Medio, que cuenta con 20 m de resolución espacial.
- 1 banda pancromática (0.48-0.71 μm), obtenida en el mismo momento que las multiespectrales, de 2,5 m de resolución espacial.
- IFOV o Campo de visión Instantánea de 3600 km² (60 x 60 km).
- Órbita Cuasi-Polar y Heliosíncrona, con una cobertura de todo el globo cada 26 días y una posibilidad de frecuencia de imágenes para una misma zona entre 2 y 4 días, gracias a la posibilidad de giro de ángulo de los sensores.

El PNT ofrece además la posibilidad, de obtener como producto final a descargar, una fusión de una composición en pseudo-color verdadero (RGB 4, 3, 2) con la banda pancromática, con lo que se obtiene una imagen final con la información espectral de las bandas multiespectrales, y la resolución espacial de la banda pancromática.

3.3 Modelo Digital del Terreno

Se ha empleado un Modelo Digital del Terreno (MDT) con un paso de malla de 5 m. Este MDT se generó por estereocorrelación automática a partir de la ortofoto de 2004. Está disponible para su descarga en el centro de descargas del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

4 METODOLOGÍA

El estudio se ha realizado mediante una primera etapa de fotointerpretación de las ortofotos con el apoyo del Modelo Digital del Terreno. De esta etapa se han obtenido las líneas del límite Húmedo/Seco y la línea de vegetación para las distintas fechas de las ortofotos utilizadas. Esto ha permitido el contar con datos de la anchura de la playa alta para cada fecha. También se han obtenido las líneas que delimitan la Duna Costera Primaria y la Duna Costera Secundaria.

Posteriormente, y por medio de la extensión de ArcGIS Digital Shorelines Analysis System (DSAS), se han trazado transectos perpendiculares a la línea de costa y se han obtenido una serie de estadísticos sobre la evolución de la línea de costa para el periodo 1956-2008, así como de los periodos intermedios (figura 3).

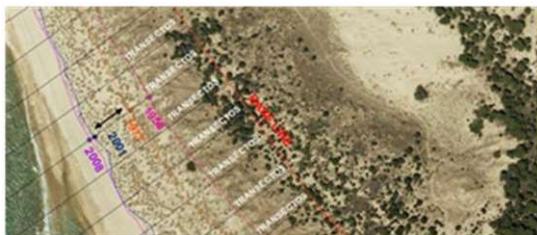


Figura 3. Ejemplo del funcionamiento de DSAS

En este caso se ha optado por trazar transectos cada 50 m, lo que ha generado un total de 516 transectos en el tramo costero de 26 km que se extiende desde el extremo oriental de Matalascañas hasta la Punta de Malandar.

La extensión DSAS permite obtener una serie de estadísticos sobre los movimientos de la línea de costa, entre los que destacan:

- Shoreline Change Envelope (SCE): Muestra la distancia entre las líneas más

alejadas entre sí para cada transecto, indica el dinamismo de ese transecto sin tener en cuenta las fechas.

- Net Shoreline Movement (NSM): Muestra la distancia entre las fechas más distantes, sin tener en cuenta si coinciden o no con las líneas más externas del transecto.

- End Point Rate (EPR): Muestra el valor del NSM dividido por el número de años transcurridos en cada periodo, de modo que es un índice o tasa anual de movimiento.

En un siguiente paso, los transectos se han extendido hasta el límite de la Duna Costera y se ha realizado un buffer de 15 m a cada uno de ellos (figura 4). Estos buffers se han dividido en función del tipo de duna (primaria o secundaria), lo cual ha permitido el poder obtener distintos datos estadísticos para cada tipología (vegetación, altura, pendiente, etc.).

Los datos de vegetación se han obtenido mediante técnicas de teledetección de la imagen SPOT 5. Se ha realizado una primera clasificación no supervisada de la imagen en 10 clases y posteriormente sobre el resultado obtenido se ha obtenido una clasificación supervisada que se ha fijado en 3 clases: Ausencia de vegetación, Matorral de porte bajo y Coníferas. Finalmente para una mayor simplificación del análisis se ha optado por agrupar aún más los datos y contar únicamente con datos de densidad de vegetación.

Una vez que se ha contado con todas las variables se ha procedido a la creación de clusters o conglomerados, tanto para la playa, como para la duna primaria, la duna secundaria y el global del transecto. La idea de estos conglomerados es buscar una mayor comprensión de las relaciones que se establecen entre las distintas tipologías de playas y dunas que se encuentran a lo largo de los 26 km de costa del Parque Nacional de Doñana.

Los cluster se han generado mediante el programa SPSS, optándose por un proceso combinado de análisis jerárquico (que ha permitido estimar el número idóneo de clases) y análisis no jerárquico, con el que finalmente se han hecho las clasificaciones una vez se ha obtenido el número óptimo de conglomerados a realizar.

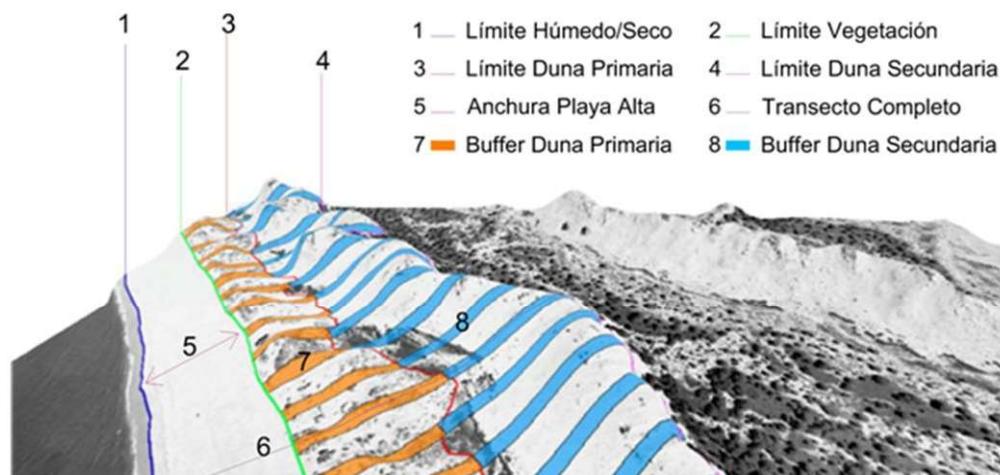


Figura 4. Esquema en 2.5 D del modelo de trabajo empleado.

5 RESULTADOS

En este apartado se distinguen esencialmente dos bloques de resultados. El primero muestra la utilización de la información extraída para realizar una caracterización general de los elementos clave del área de estudio. El segundo se centra en la aplicación del análisis multivariante (cluster) en la clasificación del sistema playa-duna.

5.1 Caracterización general de unidades

A modo de ejemplo se ha representado el comportamiento de dos variables a lo largo para dos de las subunidades de la zona de estudio: la playa y duna primaria.

En el caso de la playa, la figura 5 permite observar una correlación lógica entre la anchura de la playa alta y la tasa de acreción/erosión de la playa. Con independencia de una tendencia general hacia mayores valores a medida que nos acercamos al extremo distal de la flecha de Doñana (Río Guadalquivir), conviene matizar diferentes aspectos singulares. En primer lugar, en los primeros 5 kilómetros pueden apreciarse unas tasas de crecimiento muy bajas, llegando a ser negativas en determinados puntos; esto, sin embargo, no se corresponde con una playa alta más estrecha, si no que ésta muestra valores bastante similares a los de los tramos posteriores; como ha sido puesto de manifiesto la

proximidad de la urbanización de Matalascañas y las frecuentes obras de regeneración que se dan en estas playas pueda explicar este comportamiento anómalo. Igualmente llamativo es el caso del sector que se sitúa aproximadamente entre los kilómetros 19 a 23, justo antes de la parte final de la flecha, donde se dan los valores más bajos de anchura de playa, a pesar de que las tasas de crecimiento no se corresponde con las más bajas de la zona, si bien experimentan un claro descenso que rompe la tendencia general al crecimiento en el sentido N-S.

Por último, en la parte final de la flecha, se disparan tanto las tasas de crecimiento como la anchura de la playa alta, con un comportamiento que claramente sobresale de lo que ha venido ocurriendo hasta este punto.

En general la distribución espacial de estos datos a lo largo de la playa nos muestran el comportamiento esperado de una flecha litoral: una primera parte más longitudinal con un by passing constante de arena, una segunda parte en la que se produce una curvatura de la flecha que favorece la sedimentación y una parte final de rápido crecimiento que produce un rápido desarrollo de surcos y crestas de playa (Benavente, 2000).

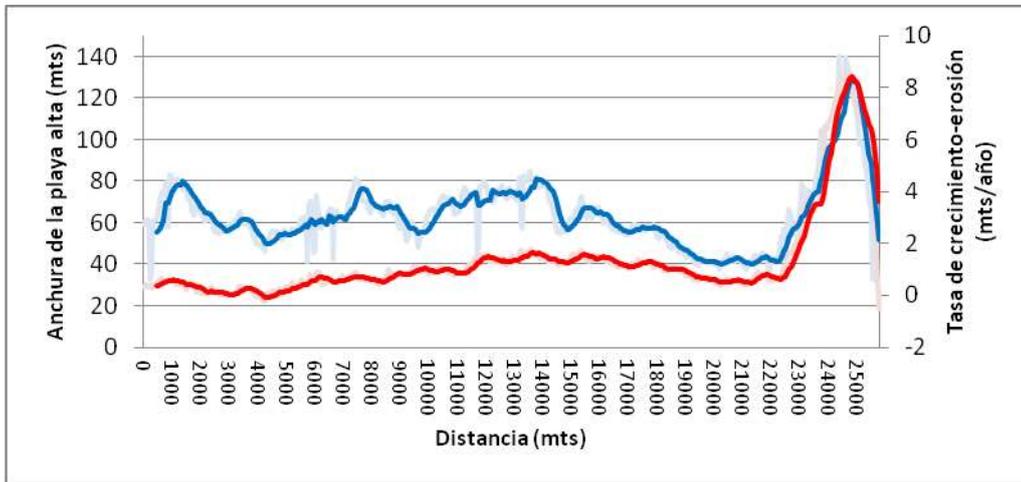


Figura 5. Anchura de la playa alta (—) y tasa de crecimiento (—) a lo largo de la costa de Doñana

En el caso de la duna primaria, las variables elegidas han sido densidad de vegetación y altura media. En la figura 6 puede apreciarse igualmente un cierto comportamiento paralelo entre ambos factores, si bien puede apreciarse una relación inversa cuando se alcanza el entorno del kilómetro 19. Una vez más, en este sector el comportamiento se aleja del resto, iniciándose un descenso de la altura media de las dunas, a medida que van alcanzándose coberturas más altas de vegetación.

5.2 Análisis cluster

Como se ha comentado, los análisis estadísticos incluyen la extracción de clusters

para las subunidades de la playa, la duna primaria y la duna secundaria, así como para la totalidad de la duna costera. Para cada una de estas unidades, las variables empleadas han sido las siguientes:

- Playa: Anchura media de la playa alta en el periodo, EPR, Indicador de variación de anchura de playa, Indicador de variación del EPR.
- Duna Primaria: Anchura de la duna primaria, altura media de la duna primaria y densidad de vegetación.

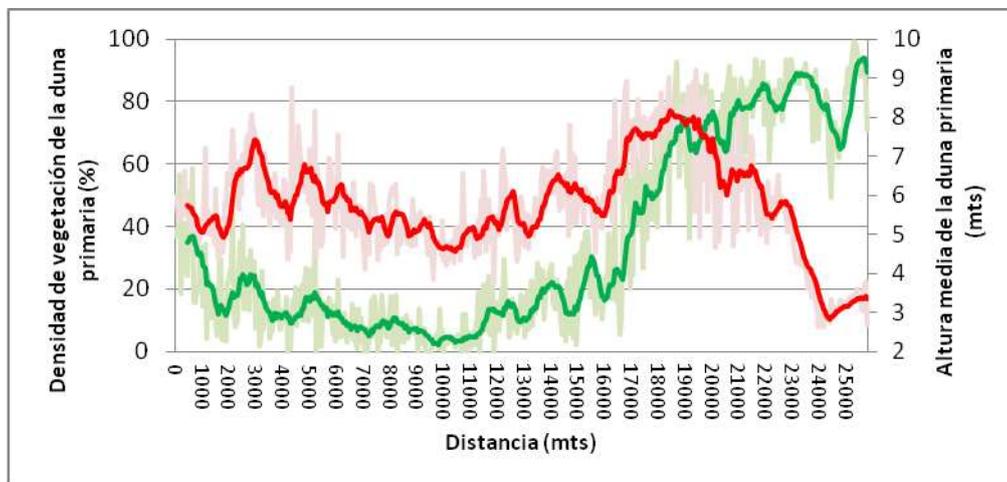


Figura 6. Densidad de vegetación (—) y altura media (—) a lo largo de la duna primaria de Doñana

- Duna Secundaria: Anchura de la duna secundaria, altura media de la duna secundaria y densidad de vegetación.
- Transecto Completo: EPR, Anchura media de la playa alta, altura media de la duna costera y densidad de la vegetación.

En el caso de la playa, los datos muestran cómo los tramos con valores más elevados de EPR (mayor progradación), se corresponden, como ya se ha comentado, con las zonas donde se dan las mayores anchuras de playa (tabla 1). Sintéticamente, la clase 1 se extiende a lo largo de los primeros 17 kilómetros de playa, con crecimientos y anchuras medias; las clases 3 y 4 componen en realidad una clase que se localiza en el extremo distal de la flecha, donde ambas variables adquieren los valores más altos (figura 11). En el caso de la clase 2, se localiza entre los kilómetros 17 a 23, donde se dan anchuras de playa muy bajas y tasas de crecimiento bajos.

Parámetro	C1	C2	C3	C4
EPR	0.89	0.62	7.17	3.91
Playa Alta	65.49	44.52	111.58	71.22
Variab. Anchura	17.47	15.68	66.59	36.75
Variab. EPR	6.23	4.87	60.47	23.93
Nº Casos	343	120	32	22

Tabla 1. Clases y variables para playa

En la duna primaria se dan agrupaciones que se ajustan bastante bien a los diferentes tipos de playa (tabla 2). Así, la clase 4 de duna primaria se asocia a las clases de playa 3 y 4, indicando que los máximos crecimientos de la playa condicionan extensas franjas dunares, donde se suceden cordones de escasa altura que son rápidamente colonizados por la vegetación (Psutý, 2004).

Parámetro	C1	C2	C3	C4
Densidad de Vegetación	12.94	17.77	70.08	82.02
Anchura Duna	79.33	153.16	104.75	221.55
Altura Duna	8.21	7.75	9.04	5.15
Media Duna				
Nº de Casos	256	80	116	65

Tabla 2. Clases y variables para la duna primaria

En el caso de la clase 3 de duna primaria, existe una localización paralela a las playas de clase 2; es decir, playas de anchura y crecimiento moderado se asocian a cordones de dunas bien desarrollados en altura y con importantes coberturas de vegetación. Finalmente, las dunas de tipo 1 y 2 se asocian con las playas de clase 1, siendo su principal

diferencia un mayor desarrollo longitudinal en el caso de la clase 2, probablemente vinculado a zonas de blowouts.

En el caso de la duna secundaria las clases tienden a mostrar una mayor agrupación espacial (tabla 3). La clase 4 se localiza en el extremo final de la flecha, donde esta formación adquiere una mayor anchura, acompañada por alturas moderadas y densidades muy altas de vegetación. La clase 2 sigue a la anterior y representa dunas de gran altura e importantes coberturas de vegetación. La clase 1 arranca desde este punto, donde la densidad de vegetación cae de forma radical, coincidiendo con menores alturas de las formaciones dunares. Por último, la clase 3 se localiza en los primeros kilómetros desde Matalascañas, donde se recuperan moderadamente la densidad de vegetación y la altura de las dunas.

Parámetro	C1	C2	C3	C4
Densidad de Vegetación	4.13	76.28	11.03	87.39
Anchura Duna	269.26	339.98	209.93	492.34
Altura Duna	6.41	9.75	8.64	6.87
Media Duna				
Nº de Casos	175	114	163	61

Tabla 3. Clases y variables para la duna secundaria

Finalmente, en la figura 7 se muestran las clases obtenidas para el sistema playa-duna en su totalidad (playa+duna primaria+duna secundaria, cuya distribución a lo largo de la zona de estudio (figura 8) permite diferenciar cuatro clases bien definidas.

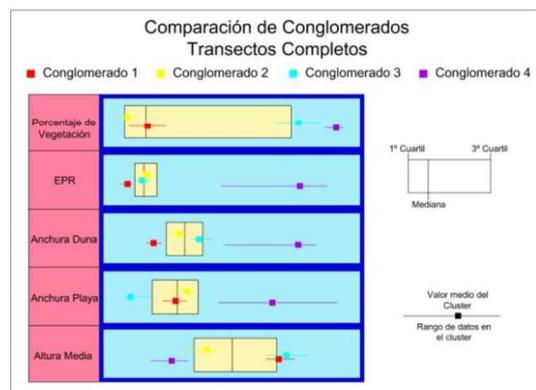


Figura 7. Clases y variables para el sistema playa-duna en su conjunto.

Así, las clases 1 y 4 muestran el comportamiento más diferenciado entre sí, ofreciendo una posición extrema en las diferentes variables empleadas. Así, la clase 4 se

sitúa en el extremo distal de la flecha, donde es extremo el comportamiento de la playa, con crecimientos y anchuras muy por encima del resto de clases; ambas circunstancias condicionan la aparición de extensas formaciones dunares, en las que se dan valores muy altos de cobertura de vegetación, pero que no consiguen desarrollar importantes alturas por su rápida desconexión con la fuente de alimentación representada por la playa. Frente a esta situación, la clase 1 representa el tipo dominante de sistema playa-duna, localizado en el sector central de la zona de estudio. En este caso, a pesar de que las playas ofrecen unas bajas tasas de crecimiento, su anchura muestra unos valores intermedios que se corresponden con una franja dunar poco desarrollada, pero en donde las dunas adquieren una altura importante pero coberturas de vegetación moderados.

La clase 3 representa el mayor desarrollo del sistema de dunas costeras, al presentar valores conjuntos muy altos en términos de anchura, altura y cobertura de vegetación; este tipo de dunas se asocian a playas de crecimientos moderado, cuyas anchuras se sitúan por debajo de la media de toda la zona de estudio, coincidiendo que lo que se establece en los modelos conceptuales citados (Psuty, 2004).

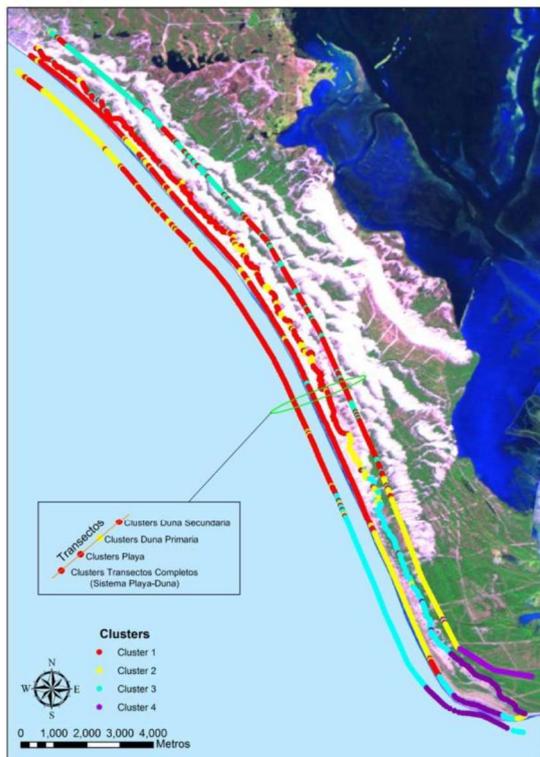


Figura 8. Distribución de las diferentes clases

Por último, la clase 2 se localiza en los primeros kilómetros de costa, ofreciendo como carácter diferenciador unos porcentajes muy bajos de cobertura de vegetación, ya que en el resto de variables se sitúa en niveles intermedios.

6 CONCLUSIONES

En el presente trabajo se desarrolla una metodología que demuestra su capacidad para el establecimiento de una clasificación de los sistemas playa-duna a partir de variables de fácil extracción y tratamiento.

Las variables elegidas se corresponden con las que normalmente se manejan en los modelos conceptuales más extendidos sobre el funcionamiento y clasificación de este tipo de sistemas.

En el caso del sistema playa-duna del P.N de Doñana, la aplicación de esta metodología permite distinguir entre cuatro clases básicas de asociaciones playa-duna, que se ajustan de forma coherente a lo que establecen algunos modelos conceptuales (figura 9).

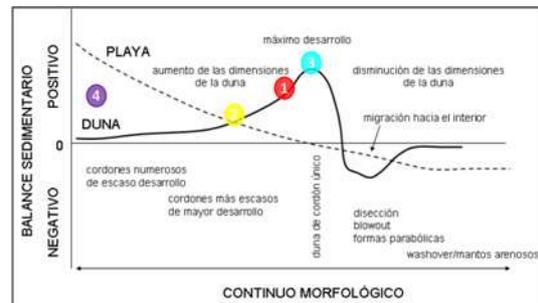


Figura 9 Situación de las clases obtenidas en el modelo conceptual de Psuty (2004).

Así, la clase 4 se correspondería con el máximo desarrollo de las playas, donde las dunas asociadas se extienden como una sucesión de cordones de escasa altura e intensa cobertura de vegetación, que aquí responde a un alejamiento de la playa y a la proximidad del río Guadalquivir que posibilita mejores condiciones en términos de enriquecimiento de edáfico (aportes sedimentarios de carácter fluvial).

La clase 3, por su parte, supone el máximo desarrollo de las formaciones dunares costeras, con una relación anchura-altura que sugiere la presencia de un gran cordón dunar vegetado, asociado en este caso a playas que se sitúan en el límite del equilibrio sedimentario, sobre todo en lo que se refiere a la anchura de la misma. La localización de esta clase se produce en el sector anterior al extremo de la flecha y coincide con la irrupción de altas densidades de vegetación determinadas por la abundancia de coníferas (enebro, sabina y pino).

Entre ambas clases, a lo largo de toda la primera parte de la zona de estudio, las clases 1 y 2 representan un tipo de duna costera con ausencia de especies arbóreas y arbustivas y un predominio de la *Ammophila arenaria* que asigna densidades de cobertura bajas. La clase 1 se da en playas de anchura y crecimiento discretos, correspondiéndose a una duna más acordonada, por tanto, con menor anchura y mayor altura, y niveles más elevados de vegetación. Por el contrario, la clase 2, en playas de características similares, se asocia de dunas más extensas, de menor altura y con porcentajes de vegetación más bajos.

La clasificación desarrollada resulta sumamente útil para la profundización en el estudio de este singular espacio, ya que permite dirigir estudios de mayor detalle en cada uno de los sectores establecidos (perfiles de playa, granulometría, formaciones vegetales, etc), y orientar las futuras acciones de gestión que puedan ponerse en marcha.

BIBLIOGRAFÍA

- Benavente J. 2000. *Morfodinámica Litoral de la Bahía Externa de Cádiz*. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz.
- García, M., Gallego, J., Williams, A.T. y García, F. 2001. A coastal dune vulnerability classification. A case study of the SW Iberian Peninsula, *Journal of Coastal Research*, 17 (4), 802-811.
- Hesp, P.A. 2002. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics, *Geomorphology*, 48, 245–268.
- Psuty, N.P. 2004. The coastal foredune: A morphological basis for regional coastal dune development. En *Coastal dunes. Ecology and conservation*, editado por M.L Martínez y N.P Psuty, Berlin, Springer, 11-27.
- Roig-Munar, F.X., Pons, G.X, Martín-Prieto, J.A., Rodríguez-Perea, A. y Mir-Gual, A. 2012. Análisis espacio-temporal (1956-2004) de los sistemas dunares de Menorca (Islas Baleares) mediante variable geoambientales de uso y gestión, *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 58, 381-403.
- Saye, S.E., Van der Wal, D., Pye, K. y 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., Ojeda, J. y Malvárez, G.C. 2006. Characterization and classification of the beach-dune system of the Doñana National Park, Southern Spain, *Journal of Coastal Research*, 48, 112-117
- Vallejo, I. 2007. *Caracterización geomorfológica y análisis de la evolución reciente del sistema de dunas activas del P.N de Doñana (1956-2001)*. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla. 468 pp.