

Estado de conservación de *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* en el frente dunar de la bahía de Alcúdia, en el norte de Mallorca

Carlos DE JUAN, Luis RICO y Anna TRAVESET

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS

De Juan, C., Rico, L. y Traveset, A. 2015. Estado de conservación de *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* en el frente dunar de la bahía de Alcúdia, en el norte de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 58: 193-203. ISSN 0212-260X. Palma de Mallorca.

La vegetación juega un papel clave en la génesis y estabilización de los sistemas de dunas litorales. El enebro marítimo (*Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa*) es el miembro principal del nicho arbustivo de las dunas litorales de la bahía de Alcúdia, en la isla de Mallorca. Se trata de una especie rara, localizada en puntos aislados del Mediterráneo, con una serie de singularidades que limitan su crecimiento poblacional. Durante años se han observado numerosos derrumbamientos en las dunas y una alta tasa de mortalidad del enebro asociados a la actividad antrópica. En el presente estudio, nuestro objetivo fue determinar las causas de mortalidad de esta especie, así como evaluar el estado de conservación del enebro marítimo y del frente dunar asociado. Realizamos dos muestreos en las playas de “Es Comú” y de “Es Braç”, en el norte de Mallorca, con distinto estado de conservación, en 2005 y en 2014, en las que medimos un conjunto de variables que describen tanto el estado de la especie como del frente dunar. Los resultados mostraron que a menor distancia entre la línea de costa y el pie del frente dunar se registra una mayor pendiente en las dunas. A su vez, se encontró que una pendiente acusada tiene unos efectos negativos sobre la supervivencia del enebro al provocar una mayor exposición de las raíces. Asimismo, observamos una evolución positiva en ambas playas tras 9 años. Nuestros resultados nos llevan a sugerir algunas recomendaciones para continuar con la gestión de esta zona y de esta especie en particular.

Palabras clave: *enebro marítimo; dunas litorales; Islas Baleares; regresión dunar.*

ESTAT DE CONSERVACIÓ DE *JUNIPERUS OXYCEDRUS* SUBSP. *MACROCARPA* AL FRONT DUNAR DE LA BADIA D'ALCÚDIA, AL NORD DE L'ILLA DE MALLORCA. La vegetació té un paper clau en la gènesi i estabilització dels sistemes de dunes litorals. El càdec de mar o ginebre marítim (*Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa*) és el membre principal del nínxol arbustiu de les dunes costaneres de la badia d'Alcúdia, al nord de l'illa de Mallorca. Es tracta d'una espècie rara, localitzada en punts aïllats del Mediterrani, amb una sèrie de singularitats que limiten el seu creixement poblacional. Durant anys s'han anat observant nombrosos derrocaments a les dunes i una alta taxa de mortalitat del ginebre associats a l'activitat antròpica. L'objectiu del present estudi va ser determinar les causes de mortalitat d'aquesta espècie, així com avaluar la progressió de l'estat de conservació del ginebre i del front dunar. Realitzarem dos mostreigs a les platges d'Es Comú i d'Es Braç, al nord de Mallorca, amb diferent estat de conservació, l'un en 2005 l'altre en 2014, mesurant un conjunt de variables que descriuen tant l'estat de l'espècie com del front dunar. Els resultats mostraren que a menor distància entre la línia de costa i el peu del front dunar es registra una major pendent a les dunes. A més, es va trobar que una pendent acusada té uns efectes negatius damunt la supervivència del ginebre degut a una major exposició de les arrels. Així mateix, observarem una progressió positiva en ambdues platges després

de 9 anys. Els nostres resultats ens duen a suggerir algunes recomanacions per continuar la gestió en aquesta àrea i aquesta espècie en particular.

Paraules clau: càdec de mar; ginebre; dunes litorals; Illes Balears; regressió dunar.

CONSERVATION STATUS OF *JUNIPERUS OXYCEDRUS* SUBSP. *MACROCARPA* AT THE COASTAL DUNE FRONT IN ALCUDIA BAY, IN THE NORTH OF MAJORCA ISLAND. Vegetation plays a key role on the genesis and stabilization of coastal dune systems. The large-fruited juniper (*Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa*) is the main member of the shrubby niche in coastal dunes in the Alcudia Bay, in the North of Mallorca Island. It is a rare species, located in isolated points of the Mediterranean Sea. It has some singularities which limit its population growth. During years, several collapses in dunes and a high mortality of this juniper have been observed having been attributed to anthropogenic activities. In this study, our aim was to determine the causes of juniper mortality as well as to evaluate the progression of the conservation state of the species and the dune front. We sampled two beaches in Northern Mallorca differing in their conservation status during two periods, one in 2005 and the other in 2014, measuring a set of variables which describe the state of the junipers and the dune front. Results showed a negative effect of the distance from the sea line to the dune front on the dune slope, i.e. a higher slope was found at short distances. In turn, a high slope showed to have negative effects on the junipers due to greater root exposition. Likewise, we observed a positive progression on both beaches during the nine-year period. Finally, we give some recommendations for the management of this area and this species in particular.

Key words: juniper, coastal dunes; Balearic Islands, dune regression.

Carlos DE JUAN CARBONELL, Luis RICO y Anna TRAVESET. Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (IMEDEA) (UIB-CSIC), C/Miquel Marqués 21, 07190-Esporles, Mallorca, Illes Balears. Autor de correspondència: cjuan@ucm.es.

Recepció del manuscrit: 13-mar-14; revisió acceptada: 6-nov-14

Introducción

Los sistemas de dunas litorales son ecosistemas complejos y dinámicos que se nutren de los sedimentos provenientes de la playa (Aagard *et al.*, 2004) y donde la vegetación juega un papel clave para su asentamiento (Martín Prieto y Rodríguez Perea, 1996; Arens, 1996). A medida que la duna se aleja de la línea de costa, se observa una colonización diferencial por especies vegetales que se corresponde con la sucesión temporal desde la génesis de las dunas. Así, se presenta una primera línea de dunas embrionarias, dunas más bajas generalmente colonizadas por especies pequeñas, anuales o semianuales; a partir de las cuales se establecen las dunas semi-

estabilizadas, con poblaciones de especies arbustivas o semiarbustivas; que son reemplazadas por especies arbóreas en las dunas finales o estabilizadas (Hesp, 2002). El enebro marítimo (*Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* (Sm.) Ball), considerado por algunos autores como una especie en sí misma (Adams, 2000), crece sobre el nicho arbustivo de sistemas de dunas litorales de la región mediterránea (e irano-turánica). Se trata de una especie adaptada a las condiciones adversas de salinidad y sequía del frente litoral donde actúa estabilizando las dunas (Muñoz-Reinoso, 2004). La distribución del enebro marítimo es limitada, estando reducida en España a algunos puntos aislados del litoral balear, valenciano y andaluz. En la isla de

Mallorca, localizada en las dunas litorales de la bahía de Alcúdia, existe una población bien asentada de enebro formada por unos 5.200 individuos (Bañares *et al.*, 2004).

El crecimiento de las poblaciones de enebro marítimo se encuentra limitado por diversos factores de los cuales los principales son: una baja tasa de éxito reproductor (Ortiz *et al.*, 1998; Juan *et al.*, 2003), un “establecimiento” muy limitado en las primeras fases de su desarrollo (Pinna *et al.* 2014) y un lento crecimiento (Cantos *et al.*, 1998). Además, la aridez del clima mediterráneo favorece el origen de fuegos, sobre todo en la estación seca, y esta especie de enebro no rebrota tras una perturbación pírica (Martínez-Taberner, 1983), siendo sustituido la mayor parte de los casos por competidores como *Pinus halepensis*.

Por otra parte, el ecosistema dunar es un sistema frágil en el que se requiere el aporte constante de sedimentos para hacer frente a los procesos erosivos. Luego el mantenimiento del sistema dunar depende en gran parte de las condiciones climatológicas, principalmente el viento, como agente generador y el oleaje, como agente erosivo. Por ejemplo, un temporal en la zona de estudio en noviembre de 2001, durante el cual se registraron los vientos con mayor fuerza registrados hasta la fecha, provocó un claro retroceso del límite dunar y descabalgamientos en las bases de las dunas (G.O.I., 2002). Pero además, en los últimos 50 años se ha ido registrando una erosión acelerada asociada a la actividad humana. Entre las actividades antrópicas que provocan una mayor erosión figuran el pisoteo o conducción sobre las dunas embrionarias, alisado de playas, la apertura de caminos y la retirada de *Posidonia* de las playas (García y Servera, 2003, Roig *et al.* 2009). Estudios previos en distintas zonas del Mediterráneo han mostrado que, sin una

correcta gestión, el turismo de masas puede llevar a la fragmentación del hábitat y la reducción de la biodiversidad, entre otros daños ambientales (Davenport y Davenport, 2006; Defeo *et al.*, 2009; Calvão *et al.*, 2013; Pinna *et al.*, 2014).

El principal objetivo del presente estudio fue proporcionar datos empíricos que faciliten la correcta gestión y las labores de conservación de esta especie y, consecuentemente, del ecosistema dunar. Esto se llevó a cabo mediante tres sub-objetivos: (1) comparación de dos playas con diferente estado de conservación, (2) estudio de la progresión de la población del enebro marítimo en esas dos playas entre 2005 y 2014, y (3) determinación de los principales factores que influyen en a) la mortalidad del enebro y b) el deterioro del frente dunar.

Material y métodos

La zona de estudio está localizada en la bahía de Alcúdia, en el cuadrante nororiental de la isla de Mallorca, en el Mediterráneo occidental (Fig. 1). Comprende unos 3.5 km de sistema playa-duna, situados entre el Gran Canal y Ca'n Picafort formado por dunas parabólicas compuestas (Servera *et al.*, 2009). La zona está dividida en dos sectores claramente diferenciados por su estado de conservación. El sector noroccidental, la playa de Es Braç, se caracteriza por presentar un elevado grado de urbanización sobre las dunas estabilizadas. El frente dunar está inmediatamente seguido tierra adentro de complejos hoteleros y apartamentos (Fig. 2A). El sector suroriental, la playa de Es Comú presenta un mayor grado de desarrollo de la vegetación desde las primeras dunas incipientes hasta las dunas estabilizadas.



Fig. 1. Localización del área de estudio.

Fig. 1. Location of the study area in Mallorca Island.

Esta playa pertenece al Parque Natural de s'Albufera, centro responsable de su conservación (Fig. 2B).

Objetivo 1: Comparación de dos playas con diferente estado de conservación. Se realizó un primer muestreo en noviembre de 2005 con el fin de comparar las dos zonas. Se midieron una serie de variables relacionadas con *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* y con la morfología de la playa. Previamente a los tests estadísticos, se realizó un análisis de dependencia espacial (Moran, 1950) para establecer la distancia mínima entre los puntos de muestreo para considerar los datos como independientes y se fijó en 25 metros. Por tanto, para dichos análisis, se consideraron exclusivamente los que estaban separados por esta distancia a lo largo de toda la playa. En total se muestrearon 60 puntos para cada sector. En cada uno de ellos, considerando una

distancia de 3 metros a cada lado, se registró la presencia o no de enebro, la presencia o no de juveniles y la existencia de caminos; se midió la altura media de los arbustos y la distancia del pie del frente dunar a la orilla; y se estimó visual y cualitativamente la forma de la duna, el índice de supervivencia (IS) y el grado de exposición de las raíces y se asociaron a unos valores entre 0 y 5 (Tabla 1). Posteriormente, se pudo comprobar que el IS y el grado de exposición de las raíces estaban altamente correlacionadas por lo que se consideró información redundante y se eliminó esta última de los análisis estadísticos ya que IS aportaba más información al contar con un mayor número de niveles.

Objetivo 2: Evolución de las dos playas tras un periodo de 9 años (2005-2014). Se realizó un segundo muestreo en noviembre y diciembre de 2014 utilizando la misma metodología que la empleada en 2005.

Valor	Forma de la duna	Índice de supervivencia	Exposición de las raíces
1	Duna derrumbada	Todas las ramas muertas	Raíces primarias expuestas
2	Duna cóncava	75% de las ramas muertas	Raíces secundarias expuestas
3	Duna vertical (90°)	50% de las ramas muertas	Raíces enterradas
4	Duna con pendiente >45°	25% de las ramas muertas	
5	Duna con pendiente <45°	Ninguna rama muerta	

Tabla 1. Valores asignados a las variables medidas en las dunas de las dos playas estudiadas. La forma de la duna se mide como la pendiente en grados del pie a la cresta de la duna. El índice de supervivencia como el porcentaje de ramas muertas o ramas desprovistas de hojas. La exposición de las raíces se entiende como el grado de exhumación del tallo o raíces primarias, o de las raíces secundarias.

Table 1. Values assigned to the variables measured in the dunes of both beaches. Dune morphology is measured as the slope level from the base to the top of the dune. The survival index is the percentage of dead branches. The exposition of the roots is understood as the degree of exposition of the trunk, primary roots, or secondary roots.

Objetivo 3: Con los datos obtenidos entre 2005 y 2014 se realizaron los análisis estadísticos con el fin de evaluar las causas de la regresión de la primera línea de enebro. Para ello, se utilizaron Modelos Lineales Generalizados Mixtos (GLMMs). Se creó un modelo inicial considerando el índice de supervivencia (IS) como variable respuesta. Las variables predictoras fueron la forma de la duna, la distancia a la orilla y el punto de la playa. El año y la zona de muestreo se incluyeron como factores aleatorios, con dos niveles categóricos cada uno, para evitar la pseudo-replicación. Mediante la comparación del criterio de información Akaike (Zuur et al., 2009) de los modelos mediante ANOVAs se eligió el modelo más conservativo (parsimonioso). Se contrastó el modelo final con el modelo nulo mediante un análisis de la varianza (ANOVA). Todos los modelos fueron realizados usando las funciones *lme* y *lmer* del paquete *lme4*, utilizando el programa estadístico R package version. 3.1.2 (R Development Core Team, 2014).

Resultados

Variación espacial

En contra de lo esperado, la población de *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* de la playa de Es Comú, playa con el frente dunar más conservado, resultó estar más degradada que la de Es Braç, cuyos terrenos adyacentes tienen un alto grado de urbanización. Los resultados encontrados en 2005 mostraron que, a pesar de que la frecuencia relativa de individuos de enebro en Es Comú es mayor (74.1%) que en Es Braç (51.6%), el índice de supervivencia (IS) resultó ser notablemente mayor en Es Braç (3.42) que en Es Comú (1.77). Atendiendo a la forma de duna, en Es Comú se registró una pendiente más acusada, es decir, índices más bajos (2.71) que Es Braç (3.67). La distancia del frente dunar a la orilla fue también mayor en Es Braç (23.87 metros) que en Es Comú (17 metros). En ambas playas, se encontró muy

poca presencia de juveniles, limitándose a dos puntos de muestreo.

Variación temporal

En 2014 se encontró el mismo patrón que en 2005, es decir, en general la población de enebro marítimo en Es Braç se encuentra en mejor estado de conservación que Es Comú. Todas las variables medidas, excepto la forma de la duna en Es Braç, mostraron una evolución positiva (porcentaje de variación entre paréntesis). Así, se observó un ligero aumento de la frecuencia relativa de individuos tanto en Es Comú (10.4%) como en Es Braç (3.1%). Se encontró también un aumento del IS en ambas playas: de 1.77 a 2.52 (15%) en Es Comú, y de 3.42 a 4.29 (17.4%) en Es Braç. La forma de la duna en este período de tiempo cambió en Es Comú: de 2.71 a 2.14 (-11.4%), es decir, mostró una regresión hacia una duna más cóncava, aumentando la posibilidad de derrumbamiento. Por otro lado, Es Braç se mantuvo estable, mostrando sólo una pequeña variación en el índice, que pasó de 3.67 a 3.75 (1.6%). En cuanto a la distancia a la orilla, aumentó ligeramente en Es Comú de 17 a 21 metros, mientras que se mantuvo en Es Braç, pasando de 23.87 a 22.76 metros. Es destacable, sin embargo, la variabilidad de la distancia del frente dunar a la orilla en Es Braç -pudiendo haber una diferencia de más de 8 m entre puntos de muestreo frente a los 3 metros de desviación máxima en Es Comú.

Este progreso general en la zona es probablemente fruto de las labores de conservación (delimitación de las zonas de uso público como la señalización y colocación de carteles explicativos) realizadas en la zona.

Factores condicionantes de la regresión de *Juniperus oxycedrus subsp. macrocarpa* en el frente dunar

El mejor modelo para determinar qué variables influyen sobre el IS incluyó únicamente la forma de la duna. Ésta mostró tener un efecto significativo sobre el índice de supervivencia ($\chi^2 = 29.83$, $p = 0.002$), de forma que a mayor pendiente (erosión creciente) mayor porcentaje de ramas muertas. Además, una mayor pendiente dunar provoca una peor fijación agravando los procesos erosivos. La forma de la duna, a su vez, viene determinada por la distancia del frente a la orilla ($\chi^2 = 9.87$, $p = 0.002$), de modo que a mayor distancia desde la duna a la orilla, menor pendiente se registra en la primera línea.

Discusión y recomendaciones

Nuestro estudio demuestra que, dependiendo de la morfología de la duna, las raíces del enebro marítimo pueden quedar expuestas en mayor o menor grado provocando daños en el individuo. Por otra parte, la distancia desde la orilla al frente dunar es un factor clave que condiciona la pendiente de la duna. Esto puede ser debido a varios factores. El oleaje puede provocar derrumbamientos de las dunas embrionarias cuando la distancia es corta (Fig. 2D). A pesar del carácter disipativo de la bahía, los pequeños temporales, muy comunes en esta zona del norte de Mallorca, son los que más afectan a la playa (G.O.I., 2002). Un efecto combinado de las olas y un aumento del nivel del mar debido al cambio en la presión barométrica y al viento puede causar derrumbamientos en el frente dunar y el avance tierra adentro de la línea de costa, como lo que se observó tras la tormenta de noviembre de 2001 (Orfila *et al.*, 2002). La gran variabilidad geomorfológica encontrada en el sistema de

Fig 2. Fotos de la zona de estudio. **A.** Playa de Es Braç en 2005. **B.** Playa de Es Comú en 2005. **C.** Situación del frente dunar en la playa de Es Comú en 2014. Se aprecian las raíces descubiertas y el derrumbamiento de dunas. **D.** Erosión visible de las dunas embrionarias en Es Comú por el oleaje en 2014. **E.** Marcas de conducción sobre las dunas embrionarias excluidas del vallado (Es Comú, 2014) **F.** Labores de replantación en el frente dunar de la playa de Es Comú.

Fig. 2. Pictures of the study area. **A.** Es Braç beach in 2005. **B.** Es Comú beach in 2005. **C.** Dune front situation in Es Comú beach in 2014. The root exposition and dune collapse are clearly visible. **D.** Visible erosion over the incipient dune by the waves in Es Comú in 2014. **E.** Conduction marks over the incipient dunes excluded from the protection (Es Comú, 2014). **F.** Replant actions in the dune front in Es Comú.



Es Braç y que es consistente con estudios anteriores (Mir-Gual *et al.*, 2011b), se relaciona con la distancia a la orilla y es uno de los factores más importantes que afectan a la comunidad de vegetal (Ruocco *et al.*, 2014). Un cambio en la dinámica de la bahía podría tener unos efectos muy negativos sobre la población remanente de esta especie. Éste debe ser un factor a tener en cuenta en la toma de decisiones de las obras proyectadas dentro de la bahía de Alcúdia.

Como ya constataron Defeo *et al.* (2009), el principal problema que se encuentra al realizar un estudio de este tipo es la dificultad de separar las causas antrópicas de las climáticas. Sin embargo, es posible observar el efecto que provocan ciertas actividades derivadas de la explotación de la playa. En particular, el pisoteo y la conducción de vehículos sobre las dunas son los ejemplos más evidentes de erosión de origen antrópico. Además de la erosión física de la duna, se provocan daños en las comunidades vegetales encargadas de fijar las dunas incipientes (Fig 2E). La morfología de la duna es fuertemente dependiente de la presencia de determinadas comunidades vegetales. Por tanto, la protección de la vegetación es esencial para la conservación de las dunas en los ecosistemas costeros (Acosta *et al.*, 2007). Se debe prestar especial atención a la protección de las dunas embrionarias y plantas colonizadores asociadas, dado que son la primera barrera física contra el viento y el oleaje. Su ausencia, a menudo causada por excluirse en el vallado, además de no permitir la sedimentación de la arena en la primera línea dunar, acelera su destrucción por factores físicos.

La retirada de las acumulaciones de restos de *Posidonia oceanica* también favorece el proceso erosivo del ecosistema litoral. Además de extraer arena de la playa,

estas prácticas afectan directamente a las dunas (Roig-Munar, 2004). Se ha visto que determinadas especies del ecosistema dunar crecen mejor en sustrato con restos de *Posidonia oceanica* (Cardona y García, 2008; Del Vecchio *et al.*, 2013). Otras prácticas, como la regeneración de playas, han sido criticadas por su daño ambiental, cuestionándose, además, su eficacia a largo plazo (Basterretxea *et al.*, 2007).

Otro posible factor que puede contribuir a una mayor mortalidad del enebro marítimo es la mayor concentración de usuarios de la playa. Cuanto menor es la distancia del frente dunar a la orilla, es decir, cuanto menor es el ancho de la playa, mayor probabilidad de que los usuarios se sitúen cerca o encima de las dunas favoreciendo su erosión. Por tanto, el mejor estado de conservación de la población del sistema playa-duna de Es Braç podría ser atribuible a que en ésta la distancia media a la orilla es notablemente mayor.

La regeneración natural de enebro es difícil debido a la degradación de las dunas. Desde 1964, se ha documentado un aumento radical de caminos en esta zona (Schmitt, 1994). En la actualidad, aunque existen delimitaciones desde 2001, sigue existiendo una alta presencia de caminos. Se recomienda el cerrado de dichos caminos mediante vallas. Además, sería conveniente realizar replantaciones en las zonas desprovistas de vegetación (blowouts), muy abundantes en la zona (Mir-Gual, 2011a; 2013). El crecimiento de nuevos ejemplares de enebro permitiría también el establecimiento de la comunidad vegetal dunar (Franks, 2003), contribuyendo a combatir, además, a posibles especies exóticas invasoras, por ejemplo *Carpobrotus* spp., que pudieran llegar a establecerse en la duna. Sería también recomendable replantar en la zona

de Es Braç, como se ha venido haciendo en la playa de Es Comú (Fig. 2F).

Hay que tener en cuenta también el gran peligro que para la especie supondría un incendio en la zona, ya que el enebro no rebrota tras el fuego. Si esto ocurriera, sería sustituido por *Pinus halepensis* (Muñoz-Reinoso, 2004), abundante en la zona, especialmente en la parte trasera de la duna (backshore).

El Parque Natural de la Albufera de Alcúdia lleva realizando labores de conservación en la zona desde años atrás. Sus principales acciones son la regeneración, cerrado de caminos mediante la colocación de vallas y la delimitación de las zonas de uso público. Durante la realización del estudio hemos podido comprobar que no se respetan las delimitaciones ni las señalizaciones. Sin la colaboración de los usuarios de la playa, cualquier medida para la conservación del enebro marítimo resultará ineficiente.

Conclusiones

(1) El efecto de la erosión física de las dunas provoca que las raíces de *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* queden desprotegidas provocando daños en el individuo o su muerte cuando se produce de forma acentuada.

(2) A su vez, la erosión de las dunas y el avance de la línea de costa genera un ciclo retroalimentativo en el cual las dunas cada vez tienen mayor dificultad para estabilizarse al no permitirse el desarrollo de la comunidad vegetal.

(3) La población de *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* del sistema dunar de la playa de Es Comú se encuentra más degradada que la de Es Braç probablemente debido a la menor distancia existente desde el pie del frente dunar a la

orilla, que favorece la erosión física por distintos factores.

(4) Se ha producido una evolución ligeramente positiva en ambos sectores en el periodo comprendido entre 2005 y 2014 fruto de las labores de conservación.

(5) Sin embargo, es necesario aumentar los esfuerzos de conservación si se quiere lograr la recuperación total de la población de *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* en esta zona.

Referencias

- Aagaard, T., Davidson-Arnott, R., Greenwood, B. y Nielsen, J. 2004. Sediment supply form shoreface to dunes: linking sediment transport measurements and long-term morphological evolution. *Geomorphology*, 60: 205-224.
- Acosta, A., Ercole, S., Stanisci, A., Pillar, V. D. y Blasi, C. 2007. Coastal vegetation zonation and dune morphology in some Mediterranean ecosystems. *Journal of Coastal Research*, 23(6) 1518-1524.
- Adams, R. P. 2000. Systematics of *Juniperus* section *Juniperus* based on leaf essential oils and random amplified polymorphic DNAs (RAPDs). *Biochemical Systematics and Ecology*, 28: 515 - 528.
- Arens, S. 1996. Patterns of sand transport on vegetated foredunes. *Geomorphology* 17, 339-350.
- Bañares, Á., Blanca, G., Güemes, J., Moreno, J., & Ortiz, S. (Edits.). 2004. *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vasculare Amenazada de España*. Madrid: Dirección General para la Biodiversidad, Publicaciones del O.A.P.N.
- Basterretxea, G., Orfila, A., Jordi, A., Fornós, J. y Tintoré, J. 2007. Evaluation of a small volume renourishment strategy on a narrow Mediterranean beach. *Geomorphology*, 88: 139-151.
- Calvão, T., Pessoa, M. y Cebola Lidon, F. 2013. Impact of human activities on coastal vegetation - A review. *Emir. J. Food Agric.*, 25 (12): 926-944.

- Cantos, M., Cuerva, J., Zárate, R. y Troncoso, A. 1998. Embryo rescue and development of *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* and *macrocarpa*. *Seed Sci. & Technol.*, 26: 193-198.
- Cardona, L. y García, M. 2008. Beach-cast seagrass material fertilizes the foredune vegetation of Mediterranean coastal dunes. *Acta Oecologica*, 34: 97-103.
- Davenport, J. y Davenport, J. 2006. The impact of tourism and personal leisure transport on coastal environments: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 67: 280-292.
- Defeo, O., McLachlan, A., Schoeman, D., Schlacher, T., Dugan, J., Jones, A., . . . Scapini, F. 2009. Threats to sandy beach ecosystems: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81: 1-12.
- Del Vecchio, S., Marbà, N., Acosta, A., Vignolo, C. y Traveset, A. 2013. Effects of *Posidonia oceanica* beach-cast on germination, growth and nutrient uptake of coastal dune plants. *PLoS ONE* 8(7):, e70607.
- Franks, S. J. 2003. Facilitation in multiple life-history stages: evidence for nucleated succession in coastal dunes. *Plant Ecology*, 168: 1-11.
- G.O.I. 2002. *Estudio interdisciplinario e integral de las Playas de Ca'n Picafort y Muro*. CSIC-IMEDEA.
- García, C. y Servera, J. 2003. Impacts of tourism development on water demand and beach degradation on the island of Mallorca (Spain). *Geografiska Annaler* 85 A, 3-4.
- Hesp, P. 2002. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology* 48, 245-268.
- Juan, R., Pastor, J., Fernández, I. y Diosdado, J. 2003. Relationships between mature cone traits and seed viability in *Juniperus oxycedrus* L. subsp. *macrocarpa* (Sm.) Ball (Cupressaceae). *Acta biologica cracoviensia Series Botanica*, 45/2: 69-78.
- Martín Prieto, J. y Rodríguez Perea, A. 1996. Participación vegetal en la construcción de los sistemas dunares litorales de Mallorca. In: Grandal d'Anglade, A. y J. Pagés Valcarlos (Edits.), *IV Reunión de Geomorfología* (págs. 784-799). O Castro (A Coruña): Sociedad Española de Geomorfología.
- Martínez Taberner, A. 1983. La franja dunar de la bahía de Alcúdia (Mallorca) i estat actual de la màquia de *Juniperus oxycedrus* L. subsp. *macrocarpa* (Sibth. et Sm.) Ball. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 27: 7-22.
- Mir-Gual, M., Pons, G. X., Perelló, B., Roig-Munar, F. X., Martín-Prieto, J. y Rodríguez-Perea, A. 2011a. Caracterització i dinàmica del sistema platja-duna d'es Comú de Muro (Badia d'Alcúdia, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 54: 95-116.
- Mir-Gual, M., Pons, G.X. 2011b. Coast sandy strip fragmentation of a protected zone in the N of Mallorca, Spain (Western Mediterranean). *Journal of Coastal Research* SI 64 (Proceedings of the 11th International Coastal Symposium), 1367-1371
- Mir-Gual, M., Pons, G.X., Martín-Prieto J.A., Roig-Munar, F.X., Rodríguez-Perea, A. 2013. Geomorphological and ecological features of blowouts in a western Mediterranean coastal dune complex: a case study of the Es Comú de Muro beach-dune system on the island of Mallorca, Spain. *Geo-Marine Letters*, 33: 129-141.
- Moran, P. A. P. 1950. A Test for the Serial Independence of Residuals. *Biometrika* 7.1/2: 178-181.
- Muñoz-Reinoso, J. 2004. Diversity of maritime juniper woodlands. *Forest Ecology and Management* 192: 267-276.
- Orfila, A., Basterretxea, G., Jordi, A., Vizoso, G., Casas, B., Fornés, A., Jansá, A., Genovés, A., Fornós, J.J., Marbà, N., Duarte, C., Lynnet, P., Liu, P., Tintoré, J. 2003. Effects of the November 2001 severe atmospheric event on two beaches of Mallorca. *Mediterranean Storms*. Proceedings of the 4th EGS Plinius Conference held at Mallorca, Spain. (October, 2003, Universitat de les Illes Balears).
- Ortiz, P. L., Arista, M. y Talavera, S. 1998. Low reproductive success in two subspecies of

- Juniperus oxycedrus* L. *Int. J. Plant Sci.* 159(5): 843-847.
- Pinna, M. S., Cañadas, E. M., & Bacchetta, G. 2014. Initial constraints in seedling dynamics of *Juniperus macrocarpa* Sm. *Plant. Ecol.*, 215: 853-861.
- Roig-Munar, F. X. 2004. Análisis y consecuencias de la modificación artificial del perfil playa-duna provocado por el efecto mecánico de su limpieza. *Investigaciones Geográficas*, 33: 87-103.
- Roig-Munar, F.X., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J.A., Pons, G.X. 2009 Soft management of beach-dune systems as a tool for their Sustainability. *Journal of Coastal Research*, SI 56, 1284-1288.
- Ruocco, M., Bertoni, D., Sarti, G. y Ciccarelli, D. 2014. Mediterranean coastal dune systems: Which abiotic factors have the most influence on plant communities? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 149: 213-222.
- Schmitt, T. 1994. Degradació de la vegetació psamòfila litoral de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 37: 151-174.
- Servera, J., Gelabert, B. y Rodríguez-Perea, A. 2009. Development and setting of the Alcudia Bay beach-dune system (Mallorca, Spain). *Geomorphology*, 110: 172-181.
- Zuur, A., Ieno, E., Walker, N., Saveliev, A. y Smith, G. 2009. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. Springer.