

IV Reunión de Geomorfología
Grandal d'Anglade, A. y Pagés Valcarlos, J., Eds.
1996, Sociedad Española de Geomorfología
O Castro (A Coruña)

PARTICIPACIÓN VEGETAL EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS SISTEMAS DUNARES LITORALES DE MALLORCA

Martín Prieto, J.A. y Rodríguez Perea, A.

Departament de Ciencies de la Terra. Universitat de les Illes Balears, Crra.
Valldemossa Km. 7.5. 07071 Palma.

RESUMEN

Se establecen las relaciones entre la zonación vegetal y las áreas geomorfológicas de los sistemas dunares litorales de la isla de Mallorca. Para ello, se clasifican dichos sistemas en cuatro categorías en base a criterios morfológicos y de vegetación y se analiza la situación actual en cada uno de ellos, definiéndose el papel que juega la vegetación en su arquitectura.

Palabras clave: Mallorca, sistemas dunares litorales, vegetación psamófila.

ABSTRACT

The relationship between plant zonation and geomorphological areas have been studied in the coastal dunar systems of the island of Mallorca. Through a four type classification based in vegetation and morphological criteria we point out their state of conservation and the role of the vegetation in their build-up.

Keywords: Mallorca, coastal dunar systems, psamophila vegetation.

INTRODUCCIÓN

En las zonas donde se desarrollan las primeras etapas de formación de morfologías dunares litorales (dunas embrionarias y *foredunes*), la falta de estabilidad de los suelos arenosos y el sistemático aporte de nuevo sedimento por la acción de transporte del viento, supone un importante obstáculo para el desarrollo de la vegetación. Estas condiciones medioambientales restrictivas, suponen un factor determinante en el establecimiento o colonización de unas especies frente a otras, de forma que existe una relación directa entre las morfologías desarrolladas y la distribución espacial de las comunidades vegetales dunares. Estas, se establecen a partir de escalones o pisos (BRESSOLIER & THOMAS, 1977; CARTER, 1988), dando lugar como consecuencia a una zonación geomorfológica y una perfecta simbiosis entre ambos aspectos.

No obstante, hay determinados factores ambientales, tanto abióticos como bióticos que contribuyen a la restrictividad de estos espacios, de manera que dichas zonas varían de forma gradual de la costa hacia el interior del sistema dunar (RANWELL, 1972; CHAPMAN, 1976; BOORMAN, 1977; DOING, 1985). Por otra parte, la vegetación dunar juega un papel fundamental en atrapar y retener la

arena: disipa la energía del viento, reduciendo su velocidad de cizalla e incrementando la altura a partir de la cual el sedimento es transportado, a la vez que disminuye la pendiente de la gráfica velocidad del viento/altura sobre el suelo (BRESSOLIER & THOMAS, 1977; HESP, 1981; PYE, 1983). En definitiva, el porte vegetal permite y favorece la deposición al mismo tiempo que ejerce un control sobre el transporte de sedimento.

En el estudio de los sistemas dunares de las Baleares, ha predominado el punto de vista ecológico y fitosociológico (BOLOS & MOLINIER, 1958; MAYOL, 1979; MARTINEZ, 1983; LLORENS *et al.*, 1985; GIL, 1989; RITA & TEBAR, 1990; SCHMITT, 1994) en detrimento de los dinámicos y geomorfológicos (RITA *et al.*, 1988; RODRIGUEZ *et al.*, 1990; GRIMALT *et al.*, 1990; SERVERA, 1994). Una característica diferencial de estos sistemas es la enorme presión antrópica que sufren nuestros litorales arenosos, que en algunos casos, mediante procesos de urbanización, ha acabado por destruirlos completamente (S'Arenal, Magalluf, Can Picafort); en otras ocasiones se produce una gran alteración del ecosistema dunar por la gran afluencia de usuarios (Es Dolç, Cala Agulla). Además la fragil situación de alguno de ellos (Sa Ràpita, Es Trenc) hace que sea necesaria su gestión para garantizar su conservación. Son muy pocos los sistemas dunares donde la degradación es escasa y ello es gracias a su difícil accesibilidad (Sa Roqueta y Es Caragol).

Por todo ello los objetivos marcados para este trabajo se resumen en los siguientes:

- Analizar la relación entre las áreas geomorfológicas y su zonación vegetal.
- Definir el papel de cada comunidad vegetal en la construcción de las morfologías.
- Subrallar el delicado equilibrio de la cadena producción-transporte-acumulación del sedimento en nuestro litoral. Su ruptura supone su destrucción o la aparición de un grave desequilibrio en el medio físico con consecuencias negativas.

AREA DE ESTUDIO

Mallorca es la isla de mayor extensión del Archipiélago Balear (figura 1), contando con una amplia diversidad litoral donde destaca la presencia de playas de arena relacionadas con sectores de aguas poco profundas denominadas *beach-ridge coast* (BUTZER, 1962), tras las cuales normalmente se desarrolla un sistema dunar. Estas áreas se sitúan principalmente en las Bahías de Palma, Alcúdia y de Campos y extremo suroriental de la Isla. En otras ocasiones, la ocurrencia de sistemas dunares se relaciona con la presencia de entrantes estructurales tipo cala, como el caso de Cala Mesquida y Cala Agulla en el extremo nororiental.

Por lo que respecta a las condiciones climáticas, Mallorca, siguiendo la clasificación climática en base al índice de Enberger, se sitúa en el tipo termomediterráneo subhúmedo en el Norte y seco en el Sur (GUIJARRO, 1986). Las precipitaciones tienen una marcada estacionalidad y su distribución sobre el litoral oscila entre los 370 mm en la costa meridional y los 600 mm en la septentrional de la Bahía de Alcúdia, siendo la ETP de 800 mm. Las temperaturas

medias oscilan entre los 16 y 17° en toda la costa. En cuanto al régimen de vientos, hay un predominio de componente Norte debido a la circulación zonal, seguidos del Oeste (en la estación fría) y Este (en la cálida). No obstante, localmente y debido a efectos térmicos en los meses más cálidos se genera un régimen de brisas marinas conocido como *embat*, que se organiza a partir de la diferencia térmica entre la tierra y el mar. Actúa de forma efectiva entre abril y octubre, siendo vientos perpendiculares a la línea de costa y acentuándose a medida que avanza el día. Es un régimen muy regular, alcanzando una media de 25-30 km/h.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para la presente comunicación se ha contado con el trabajo de campo y el análisis de fotografía aérea. Así mismo, para poder comprender los procesos que tienen lugar en nuestro ámbito de estudio es necesario conocer algunos aspectos específicos que hacen de él un espacio particular y singular y que la mayoría de las veces no puede ser correlacionado con ambientes similares de otras zonas litorales, incluidas las del Mediterráneo. En particular resulta un hecho diferencial de importancia el origen del sedimento que nutre nuestras playas y dunas en Baleares; se trata de arenas bioclásticas predominantemente.

IMPORTANCIA DE LA ALIANZA *POSIDONION*

Por otra parte y para definir la estrecha relación entre la propia dinámica geomorfológica y el establecimiento de comunidades vegetales es necesario conocer la participación de cada una de las alianzas y sus respectivas comunidades en la construcción de los sistemas dunares. Es necesario comenzar por una alianza que no pertenece a la comunidad vegetal dunar y que se desarrolla sobre el *nearshore*, pero que no obstante juega un papel importantísimo, esta es la alianza *Posidonion*. Su importancia es doble, por una parte, su principal representante, la *Posidonia oceanica*, constituye la principal fuente del sedimento de nuestro litoral, que como ya hemos señalado, en su mayor parte está constituido por bioclastos (70% de fragmentos de briozoos, foraminíferos, equinodermos, etc.), frente a un 30% de material terrígeno (litoclastos calcáreos procedentes de rocas jurásicas y miocenas principalmente, JAUME & FORNOS, 1992). Esto significa que la producción de sedimento es limitada, ya que no hay cursos de agua permanente y por tanto el sedimento terrígeno es tan solo aportado de forma esporádica y torrencial. Si a ello añadimos que nos hallamos en un periodo transgresivo del mar, nos encontramos con que la vegetación es el factor más importante en la dinámica de nuestros sistemas dunares.

El segundo aspecto es que no hay precesos mareales, de aquí la importancia de la *Posidonia*, que al perder sus hojas, estas se acumulan a partir del otoño en la zona del *foreshore*, protegiendo de modo eficaz la playa subaérea (*backshore*) contra el ataque del oleaje de alta energía propio de la estación fría. Además, el límite de las hojas acumuladas sobre la playa permanece inmóvil, mientras que hacia el mar puede alcanzar una anchura de varias decenas de metros en un sistema de progradación de cordones paralelos, cuya altura es en general superior al perfil del propio *backshore*, provocando una disminución de la velocidad del viento al aumentar la rugosidad de su superficie, quedando por tanto, protegido a sotavento. Este hecho en la actualidad no ocurre con igual

frecuencia que en años pretéritos, ya que estas hojas son extraídas de la playa para su uso por el ganado y como abono para el campo. Ello trae además como consecuencia una pérdida importante de arena ya que la extracción por medios mecánicos de la hoja conlleva el acarrero de los bioclastos a ella asociados a los que se añaden los propios de la playa. De esta manera, se facilita además, el transporte de la arena por el viento, ya que la playa queda desnuda, y se pierde por tanto otra parte del sedimento ya acumulado. Con todo ello la acción del oleaje de alta energía es más efectiva, llegando a alcanzar y erosionar la base de la *foredune*. Así se explica también, la ausencia de la comunidad de *Cakile maritima*, propia del *backshore*.

GRADACIÓN DE LA VEGETACIÓN DUNAR Y SU RELACIÓN CON LAS MORFOLOGÍAS

La comunidad vegetal dunar de la isla de Mallorca se divide en dos alianzas, que en general se caracterizan por presentar una escasa variedad de especies y que se repiten en la mayoría de los sistemas dunares, exceptuando algunas variaciones en la más alejada del mar (figura 2).

Alianza *Ammophilion*: se desarrolla sobre la *foredune* y el *runnel* y engloba tres comunidades que son las siguientes. Comunidad de *Agropyretum mediterraneum*, se sitúa preferentemente sobre las caras de *stoss*; comunidad de *Ammophiletum arundinaceae*, situadas sobre las crestas y comunidad de *Crucianelletum maritimae*, que lo hace sobre las caras del *lee* ocupando además parte del *runnel*. Florísticamente esta alianza es similar en todos los sistemas dunares estudiados con muy pocas variaciones entre ellos. La diferencia más importante estriba en que su principal componente, la *Ammophila arenaria* o barrón esté presente o no. De ello dependerá que tengamos un perfil u otro, lo cual se va a traducir en una mayor o menor acumulación de sedimento (figura 3).

Si observamos a modo de ejemplo los perfiles comparativos realizados en el perfil con *Ammophila*, este presenta unos 80cm más de altura en su cresta y por lo tanto mayor cantidad de arena, además de un *stoss* más suave y uniforme que en el otro perfil. Esto se traduce en una mayor anchura del *backshore* y una disminución de la superficie vegetada, lo cual facilita el transporte y una menor retención del sedimento por parte de la vegetación. Pero lo más significativo es la diferencia que se observa entre ambos perfiles que es debida al papel que ejerce el barrón en los primeros estadios en la colonización y formación de las primeras dunas. La figura 3 ilustra su mayor capacidad de retención de arena, gracias a su sistema de rizomas y a que su tallo ocupa un espacio mayor impidiendo que el sedimento quede suelto y sea susceptible de ser transportado por el viento. Su capacidad de retención es hasta cinco veces superior que la de otras plantas de la comunidad *Ammophiletum* como es el caso del cardo marino (*Eryngium maritimum*), el lirio de mar (*Pancratium maritimum*), la lletrera (*Euphorbia paralias*) o el *Lotus creticus*, que son las especies más comunes que aparecen en ella. La *Ammophila* puede retener entre un 50 y un 70% del total del transporte de arena recibido de la playa (BRESSOLIER & THOMAS, 1977).

La capacidad de retención de la arena por la vegetación aumenta a medida que lo hace la densidad y la altura de la misma (en el ejemplo de la figura 3 la cobertera era del 30-40%). Este hecho se traduce en una relación entre las especies

vegetales y el dinamismo de la duna. Así, en las zonas en que existe un menor dinamismo de la duna y del transporte de arena, tienden a instalarse plantas de porte herbáceo que crecen aisladas (cardo, lirio de mar, campanilla de mar, *lletrera*), mientras que con el barrón ocurre lo contrario, ya que es capaz de soportar un aporte de arena de hasta 1m anual (CHAPMAN, 1976). En la zona de transición con dunas semifijadas, encontramos bien un estrato arbustivo que permite un cierto grado de fijación, bien una cobertera vegetal escasa que se traduce en morfologías completamente móviles. En general son plantas de un bajo ratio de crecimiento (*mata*, *ginebró*, pino carrasco, savina), cuyo dinamismo vegetativo es también bajo. En otras palabras, el rango de fluctuaciones de la superficie y del dinamismo de las dunas, alternando fases de erosión y acreción, puede ser correlacionado con la ausencia por una parte y el crecimiento, altura, densidad y tipo de la vegetación por otra (PLUIS & DE WINDER, 1990).

Alianza Oleo-Ceratonion: se desarrolla sobre dunas semifijadas y fijadas, presentando una mayor variedad que la alianza anterior y mostrando diferencias espaciales entre la Bahía de Alcúdia (al N de la isla), con ausencia de savina (comunidades de *Juniperus macrocarpa* y *Rosmarino ericion*) y el litoral meridional (asociación *Juniperetum lyciae*). La gradación de la vegetación se manifiesta a través de la presencia de un estrato de porte arbustivo en la zona más externa de esta alianza. Constituye una zona de tránsito entre el primer cordón dunar más activo y las partes interiores de los sistemas dunares. En esta zona, alterna un cierto grado de fijación por la vegetación con otras partes donde el sedimento es totalmente móvil. Suelen aparecer en ella pequeñas morfologías de tipo parabólico y *blowouts*.

La parte más consolidada y menos activa o dinámica, la constituye el sector más interno de cada sistema dunar. Está dominada por morfologías de dunas parabólicas de tipo hemicíclico o digitadas, que se encuentran colonizadas por vegetación ya claramente de porte arbóreo, especialmente pino carrasco, *ginebró* y un espeso sotobosque arbustivo de mata y plantas trepadoras, constituyendo las especies más características de la alianza *Oleo-Ceratonion*. Esta vegetación se desarrolla sobre los brazos y el morro de las dunas, quedando el sector entre ellos expuesto a deflacción en aquellas zonas más próximas a la línea de costa, donde la acción del viento es aun efectiva y produciéndose un transporte principalmente por saltación. En los sectores más internos o más alejados del mar, las dunas parabólicas están colonizadas casi en su totalidad por la vegetación. Esto significa que la actividad eólica en esta parte es mucho menor o casi inexistente, constituyéndose morfologías fijas o estabilizadas, ya que reciben poco o muy poco aporte de arena y principalmente en suspensión. Este proceso tiene lugar a partir de la arena erosionada en los corredores de deflacción que es transportada hacia arriba por la cara de barlovento del propio corredor que a su vez actúa como una rampa. La arena es seleccionada de acuerdo a su tamaño y las partículas más finas son transportadas en suspensión para ser depositadas como *grainfall sediment* (PYE, 1982). Los tamaños medios y gruesos se depositan sobre la parte superior de la cara de deslizamiento hasta alcanzar el límite de estabilidad dando lugar a deposición por gravedad y por avalanchas que hacen avanzar el *lee* y que entierran la vegetación que encuentran a su paso. La sedimentación por suspensión tiene lugar cuando las partículas toman contacto con la superficie del bosque y se reduce el gradiente de la velocidad del viento, produciéndose la deposición (PYE, 1987). Estas partículas se depositan sobre la hojarasca de pino acumulada en el suelo para

posteriormente ser filtradas a modo de tamiz hasta tomar contacto con la superficie arenosa. El hecho de que en secciones de dunas consolidadas de las partes más interiores de los sistemas dunares y con una cobertera vegetal arbórea importante no aparezca ninguna capa de materia orgánica, demuestra que la única forma de llegar sedimento es por suspensión, sin que el sistema dunar pueda avanzar más.

REPERCUSIONES SOBRE EL MEDIO DE LA AUSENCIA DE VEGETACIÓN

La ausencia o la disminución de la superficie vegetada afecta de forma negativa al sistema dunar, haciendo que el equilibrio natural del trasvase de sedimento de una zona a otra se rompa, y se efectúe de forma más agresiva. Como ya ha sido mencionado anteriormente, el desequilibrio empieza con la extracción de las hojas de *Posidonia oceanica* acumuladas sobre el *foreshore*. Su extracción indiscriminada provoca o altera la dinámica natural del *backshore*, favoreciendo los procesos erosivos, tanto por la acción del oleaje como por el viento. Si a esto le añadimos la elevada presión antrópica a la que cada año se ven sometidas la mayoría de nuestros litorales arenosos (especialmente *backshore*, *foredune* y *runnel*), tendremos un resultado como el de la playa de Muro, donde entre 1966 y 1990, el número y longitud de senderos se ha multiplicado por cinco, provocando una alteración considerable de la estructura vegetal y acelerando los procesos erosivos al disminuir el porcentaje de cobertera vegetal (SCHMITT, 1994). Esto tiene lugar en todos los arenales arenosos, produciéndose *gaps* o huecos al desaparecer una parte de la vegetación sobre la *foredune* (Sa Ràpita, Es Trenc, Playa de Muro).

La arena que era retenida y estabilizada por la vegetación pionera de la alianza *Ammophilion arundinaceae* es trasvasada rápidamente hacia el segundo cordón, enterrando la vegetación de este y acelerando los procesos erosivos y transgresivos. La figura 4 ilustra este proceso: la ausencia o disminución de la vegetación, es decir, la falta de un mecanismo que retenga y atrape arena, hace que el avance de la duna hacia el interior sea muy rápido, de forma que llega a impedir el crecimiento o germinación de plantas que son capaces de soportar altas tasas de enterramiento anuales como la *Ammophila arenaria* o el *Agropyron junceum* (RANWELL, 1972; CHAPMAN, 1976).

No obstante, la morfología transgresiva más importante lo constituyen los *blowouts*. Se originan en su mayor parte por pérdida de vegetación en la *foredune* como consecuencia de la presión antrópica (creación de caminos, senderos, pisadas) sobre el *lee* y por la acción del oleaje en la cara de *stoss*. Con su formación provocan una canalización característica del tipo *through blowout* y a la vez una aceleración del viento, que favorece el transporte de arena suelta a modo de corredor. La morfología resultante actúa como un cuña en forma de U, cuyo *lee* avanza hacia el segundo cordón de dunas, donde comienza a estabilizarse con las mismas consecuencias que los *gaps*, es decir, enterrando todo lo que encuentra a su paso, incluso a la vegetación arbórea. En cala Mesquida, al NE de la isla, la fotografía aérea de 1956 muestra una excelente zonación vegetal, con una cobertera superior al 80% y una *foredune* topográficamente continua. La creciente presión antrópica a la que se ha visto sometida -construcción de apartamentos en la década de los 70, presencia de un camping, paso de caballos, etc - ha dado lugar a la creación de infinidad de caminos en todo el sistema dunar. Sin embargo, donde ha afectado más negativamente ha sido en la *foredune* donde se han formado hasta

cuatro *blowouts*, de modo que la cobertera vegetal que se desarrolla sobre sus brazos, alcanza únicamente el 30-40%, mientras que en la parte central de los mismos los *lees* han avanzado hacia el interior una media entre 2-2.5 m/año durante el periodo comprendido entre 1956-87. Este desplazamiento entierra a su paso todo tipo de vegetación, y alcanza en la actualidad el cordón de dunas consolidadas del interior

CONCLUSIONES

El papel que juega la vegetación en el desarrollo, evolución y control de la morfología de las dunas ha sido demostrado por OLSON (1958) y BRESSOLIER & THOMAS (1977). Los principales efectos se producen en primer lugar, gracias a las partes subaéreas de la plantas. A mayor altura y densidad de las mismas se incrementa la rugosidad de la superficie y se reduce la velocidad del viento. Además, se incrementa la altura a partir de la cual el viento es capaz de iniciar el movimiento del sedimento (*roughness height* o *Zo*), así, un incremento de *Zo* desde los 0.04 cm a 1 cm, aumenta notablemente la sedimentación (PYE, 1983). En segundo lugar, las raíces y los rizomas actúan como retén y agente estabilizador, dificultando el movimiento de la arena.

No solo la ausencia de vegetación condiciona la morfología de la duna y del sistema dunar, tal y como hemos visto en el apartado anterior y la figura 4; si no que la colonización de una determinada especie con respecto a otra o su mayor abundancia hace variar la morfología de las primeras dunas. En el ejemplo de la figura 3, la acumulación de arena es visiblemente mayor cuando hay presencia de *Ammophila*, a la vez, que se produce una buena zonación vegetal de las tres comunidades de la alianza *Ammophilion*. Esto por el contrario no ocurre en el perfil sin el barrón, que está colonizado por cardo marino y lirio de mar, faltando la asociación *Agropyretum*, lo cual se traduce en una menor superficie vegetada y por lo tanto menor capacidad de retención del sedimento. Algo similar ocurre con la vegetación de las dunas de S'Albufera de Alcúdia, donde la destrucción de la cobertera vegetal de *Ammophilion* entre 1958-78 debido a presión antrópica y posteriormente a un incendio, ha modificado el comportamiento y morfología del sistema dunar (MARTINEZ, 1983). En la figura 5, podemos apreciar esos cambios que han llegado incluso a provocar la desaparición de la *foredune* debido a la destrucción de la cobertera vegetal de la primera línea, así como un reajuste de la línea de costa. Este problema se ha agravado por la acción de un incendio en el verano de 1978, cuyos efectos se manifiestan en el perfil de 1981. Hay que señalar el importante papel desempeñado por el *Juniperus*, adaptándose y estabilizando por una parte la primera franja dunar en la zona inalterada por el incendio (1978), y en segundo lugar y en la zona quemada, actuando gracias a sus raíces como barrera contra la acción erosiva del mar y del viento (1981), reteniendo arena y facilitando la instalación del estrato herbáceo *Ammophilion* propio de esta zona.

En la figura 1, a modo de conclusión, se sintetizan los trabajos realizados a nivel botánico o ecológico (SCHMITT, 1994) y geomorfológico (SERVERA, 1994) junto al análisis realizado en los apartados anteriores, en cuatro categorías de estado para ambos aspectos. A esta clasificación morfo-ecológica, se le añaden los criterios seguidos por HESP (1988) en la clasificación de *foredunes*, como un primer elemento necesario a tener en cuenta a la hora de analizar sistemas dunares. Estas categorías están basadas en las siguientes características y señalan a su vez la

situación actual de cada sistema dunar:

- Totalmente destruidos: inexistencia de *foredune*, del segundo y tercer cordón debido a procesos urbanísticos. Hay especies psamófilas aisladas.

- Elevada alteración: ausencia casi total de *foredune* (nivel 5 de la clasificación de Hesp), procesos erosivos transgresivos, presencia de *blowouts*, corredores de deflacción y rápida transición de sedimento hacia el interior del sistema. Las zonas naturales de vegetación apenas se reconocen y la dinámica natural se ha alterado.

- Mediana alteración: *foredune* parcialmente existente, (nivel 3), moderada presencia de *gaps* y *blowouts* en cuanto a número y tamaño, escarpes en el pie de duna, debido a acción del oleaje. Vegetación poco degradada, faltan pocas especies, pudiendo construirse un inventario típico de especies.

- Escasamente alterados: *foredune* topográficamente continua y bien desarrollada, perfil suave y ondulado y ausencia de escarpes (nivel 1), ausencia casi total de morfologías transgresivas, buen estado de conservación (figura 3). Desarrollo completo de las asociaciones.

* Este trabajo ha recibido financiación del proyecto CICYT MAR95-1825 dentro del programa Nacional de Ciencia y Tecnología Marinas

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BIRD, E. (1990): Clasification of European Dune Coast. In Dunes of European Coasts, Bakker, T; Jungerius, P & Klijn, J. Eds. *Catena Supplement* 18, 15-24
- BOLOS, O & MOLINIER, R (1958): Recherches phytosociologiques dans L'Île de Majorque. *Collectanea botanica* V, 699-865.
- BOORMAN, L. A., (1977): Sand-dunes. In *The Coastline*, Barnes, R (ed). Willey & Sons., 767-797. London.
- BRESSOLIER, C. & THOMAS, Y., (1977): Studies on wind and plant interactions on French Atlantic coastal dunes. *J. Sed. Pet.* 47(1), 331-338.
- BUTZER, K., (1962): Coastal Geomorphology of Mallorca. *Ann. Assoc. of Am. Geog.* 52, 191-212.
- CARTER, R. W. G., (1988): *Coastal environments*. Academic Press. London.
- CHAPMAN, V. (1976): *Coastal vegetation*. Pergamon Press. Sydney.
- DOING, H. (1985): Coastal fore-dune zonation and succession in various parts of the world. *Vegetatio* 61, 65-75
- GIL, LL. (1989): *La vegetación de las dunas de Sa Ràpita (Campos, Mallorca)* Tesina Licenciatura. inédita. UIB, Palma.
- GRIMALT, M ET ALTER (Eds) (1991): *Libro-guía de las Excursiones de las VII Jornadas de Campo de Geografía Física*. Palma. Servei de Publicacions de la UIB.
- GUIJARRO, P. (1986): *Contribución a la bioclimatología de ls Baleares*. Tesis inédita. 2 Vols. UIB, Palma.
- HESP, P. (1981): The formation of shadow dunes. *J. Sed. Pet.* 51(1), 101-111.
- HESP, P. (1988): Morphology, dynamics and internal stratification of some established foredunes in Southeast Australia. *Sedimentary Geology* 55, 17-41.
- JAUME, J & FORNOS, J. (1992): Composició i textura dels sediments de platja del litoral Mallorquí. *Boll. Soc. Hist. Nat. de les Balears* 35, 93-110.
- LLORENS, L; PERICAS, J & ROSSELLO, J. (1985): La flora i vegetació de las Pitiüses. *Estudis Balearics* V(16), 65-85
- MCLAHAN, A. (1990): The exchange of materials between beach and dune systems. In Coastal dunes, form and process. Nordstrom, k.; Psuty, N & Carter, W. (Eds.) Willey, 201-213. Chichester.
- MARTINEZ, A. (1983): La franja dunar de la Badía d'Alcudia (Mallorca). Estat actual de la maquia de *Juniperus oxic.* L. macrocarpa. *Boll. Soc. Hist. Nat. de les Balears* 27, 7-22.
- MAYOL, J. (1979): El paisaje de Es Trenc (Campos, Mallorca). Utilización y dinámica. *VI Coloquio de Geografía*. AGE-UIB. Palma.
- PLUIS, J. & DE WINDER, B. (1990): Natural stabilization. In Dunes of European Coasts, Bakker, T; Jungerius, P & Klijn, J. (Eds.) *Catena Supplement* 18, 195-208.
- PYE, K. (1983): Coastal dunes. *Progress in Physical Geography* 7, 531-557.
- PYE, K. (1987): *Aeolian dust and Dust deposits* Academic Press, London.
- RANWELL, D. (1972): *Ecology of salt marshes and sand dunes*. Chapman & Hall. London.
- RITA, J.; RODRIGUEZ, A & TEBAR, F. (1988): *Sistemas dunares de Menorca. Valor geoambiental y estado de conservación*. Inédito.
- RITA, J. & TEBAR, F. (1990): Estructura de la vegetación dunar de Menorca (Islas Baleares). *Studia Ecologica* VII, 33-48.
- RODRIGUEZ, A.; CORBI, A. & SERVERA, J. (1990): El sistema dunar de Sa Canova d'Artá. *1ª Reunión Nac. de Geomorfología. SEG-IE Turolenses*, 365-376. Teruel.
- ROSSELLO, V. (1971): El oleaje y sus efectos geomórficos en las playas meridionales de Mallorca. *Cuadernos de Geografía* 9, 169-178.
- SCHMITT, T. (1994): Degradació de la vegetació psamòfila litoral de Mallorca. *Boll. Doc. Hist. Nat. de les Balears* 37,

SERVERA, J. (1994): *Introducció per a l'estudi dels sistemes dunars de Balears*. Memoria d'Investigació. Dept. Cienc. de la Terra. Inédit, IUB.

Pies de Figura

Figura 1. Localización del área de estudio y de los principales sistemas dunares.

Figura 2. Esquema y zonación general de los sistemas dunares de la isla de Mallorca a nivel biogeográfico y geomorfológico.

Figura 3. Perfiles comparativos de la *foredune* de Sa Roqueta (en el Sur de Mallorca). La línea discontinua representa el perfil con presencia de *Ammophila arenaria*, mientras que el trazo continuo le corresponde un dominio de *Eryngium maritimum*, *Pancreatium maritimum* y *Euphorbia paralias*. La separación entre ambos perfiles es de aproximadamente 30m.

Figura 4. A: *foredune* donde la vegetación atrapa arena. B: formación de dunas transgresivas, donde la arena procedente de la playa no es retenida debido a la falta de vegetación. (modificado de BIRD, 1990, p. 20).

Figura 5. Perfiles pertenecientes a la playa de S'Albufera (Bahía d'Alcúdia) en: 1958, sistema dunar original según BOLOS & MOLINIER (1958). 1978, zona del sistema no afectada por el incendio registrado ese año; ausencia de *foredune* debido a acción antrópica. 1981, zona del sistema afectada por el incendio y en proceso de recuperación con colonización de *Ammophila* sobre el anterior segundo cordón dunar. (modificado de MARTINEZ, 1983, p. 8)









