

Caracterització i dinàmica del sistema platja-duna d'es Comú de Muro (Badia d'Alcúdia, Mallorca)

Miquel MIR-GUAL, Guillem X. PONS, Biel PERELLÓ, Francesc X. ROIG-MUNAR, José Ángel MARTÍN-PRIETO i Antonio RODRÍGUEZ-PEREA

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS

Mir-Gual, M., Pons, G.X., Perelló, B., Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.Á. i Rodríguez-Perea, A. 2011. Caracterització i dinàmica del sistema platja-duna d'es Comú de Muro (Badia d'Alcúdia, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 54: 95-116. ISSN 0212-260X. Palma de Mallorca.

Els sistemes dunars litorals de les Illes Balears han sofert canvis fisonòmics substancials al llarg dels darrers decennis, en bona part a causa de la pressió antròpica duta a terme sobre la franja costanera. No obstant aquesta pressió ha estat asimètrica, no tan sols des d'un punt de vista temporal, sinó també des de la vessant espacial. El present treball pretén dur a terme una caracterització física i geomorfològica del sistema platja-duna d'es Comú de Muro, inserit dins els límits del Parc Natural de s'Albufera, i que dins un context d'artificialització litoral, avui perdura com un sistema "natural" limitat per la pressió que exerceixen els nuclis urbano-turístics limítrofs de Can Picafort i Platges de Muro. Per a tal fi es realitzen perfils de platja al llarg d'un any per a conèixer la dinàmica de la platja a escala anual, alhora d'establir les diferències entre el comportament d'una platja urbana (Can Picafort) i una platja natural (es Comú). A més es realitza una anàlisi de l'estat de conservació de la primera línia de dunes a partir de l'estudi de 58 formes erosives tipus *blowout* considerant paràmetres geomorfològics i ecològics. Finalment es valora l'estat del bosc de *P.halepensis* associat al cordó de dunes estabilitzades a partir de la pressió antròpica soferta al llarg dels segles.

Paraules clau: sistema platja-duna, es Comú de Muro, Mallorca, geomorfologia, conservació.

DYNAMICS AND CHARACTERIZATION OF THE BEACH-DUNE SYSTEM OF ES COMÚ DE MURO (ALCUDIA BAY, MAJORCA). The coastal dune systems in the Balearic Islands have suffered substantial physiognomic changes over the last decades, mainly as a result of human pressure on the coastal strip. However, this pressure has been asymmetric, not only from a temporal point of view, but also from the perspective of space. This paper aims to establish a physical and geomorphological characterization of beach-dune system of es Comú d'Alcudia, inserted within the Natural Park of s'Albufera, and that within a context of coastal artificialization, today stands as a "natural" system despite pressure from the towns of Can Picafort and Platges de Muro. In this sense, it has been carried out beach profiles along one year in order to understand the dynamics of the beach on an annual scale, and establish the differences between the behavior of an urban beach (Can Picafort) and a natural beach (es Comú). In addition, is performed an analysis of the conservation status of the first line of dunes through the study of 58 erosive forms blowout considering geomorphological and ecological parameters. Finally, is assessed the conservation status of forest of *P.halepensis* associated with the line of stabilized dunes, taking into account the anthropogenic pressure sustained over the last centuries.

Keywords: beach-dune system, es Comú de Muro, Majorca, geomorphology, conservation.

Miquel MIR-GUAL, Guillem X. PONS, Francesc X. ROIG-MUNAR, José Ángel MARTÍN-PRIETO i Antonio RODRÍGUEZ-PERA Grup d'investigació BIOGEOMED, Departament de Ciències de la Terra (UIB), carret. Valldemossa km 7,5; Biel PERELLÓ, Parc Natural de s'Albufera de Mallorca. Email de contacte, mirgual@gmail.com

Recepció del manuscrit: 4-mar-10; revisió acceptada: 30-nov-11

Introducció

Els agents i factors que intervenen sobre les platges arenoses són, sens dubte, els màxims responsables de la seva morfologia i comportament. Tot i que un gran nombre d'aquests esdevenen amb un origen natural, la pressió antròpica al llarg de les darreres dècades a l'illa de Mallorca s'ha postulat com un dels inputs més a tenir en compte pel que fa la caracterització i modificació d'aquests ambients. No obstant la perillositat a la que es podrien atribuir aquests espais, conseqüència dels recurrents episodis naturals que, de forma espontània i agressiva hi esdevenen (Bauer i Sherman, 1999), la imatge mental més freqüent sobre aquest espai es tradueix en veure-ho i interpretar-ho com un recurs turístic i/o econòmic.

L'ocupació i assentament de l'activitat humana, i el creixement exponencial d'activitats i usos aliens a aquests emplaçaments, han fet que avui dia, gran part de la zona costanera, amb incidència sobre les costes baixes arenoses, s'hagi vist greument afectada. Com exemple representatiu del dit, i segons postula Nonn (1987), el 20% de les costes a nivell mundial són de gènesis arenosa, de les quals el 70% s'erosionen, bé per causes naturals o bé per l'acció destructiva de l'activitat humana.

Els continus atemptats contra el medi físico-natural, palpables avui en moltes zones costaneres, han demostrat al llarg del temps que són simptomàtics d'una falta

crònica d'integració transversal en la seva gestió (OCDE, 1995). La intensitat i diversitat dels factors i agents que amb els temps s'han anat desenvolupant sobre aquests sistemes no han estat gratuïtes en tant als seus canvis fisonòmics. La diversitat física d'aquests espais no tan sols s'expressa en una escala temporal, sinó que també ho fa des d'un punt de vista espacial. L'illa de Mallorca i el comportament de les seves platges són un bon exemple per defensar aquesta hipòtesi. El monopoli que la indústria del turisme té sobre la franja costanera des de meitats del segle passat, fa que la consideració de les platges balears tan sols s'enfoqui de cap als mesos d'estiu, convertint-se en espais oblidats al llarg del període hivernal. Les conseqüències derivades de dita bipolaritat fan que les mesures de gestió aplicades sobre aquests ambients siguin intenses al llarg de la temporada alta, i pràcticament absents la resta d'any.

El sistema platja-duna d'es Comú de Muro (Fig.1) es postula com un bon punt per analitzar aquestes interferències. La seva localització, compresa entre dos nuclis turístics de primer ordre, ha fet que, tot i formar part del Parc Natural de s'Albufera de Mallorca, els impactes soferts per l'acció de l'home s'hagin de considerar avui com un dels factors més importants en tant a la seva situació actual i al seu estat de conservació. La situació actual d'es Comú de Muro com a sistema no es pot entendre sense analitzar la tendència socioeconòmica

del seu voltant. Sens dubte, el desenvolupament urbanístic circumdant ha estat el principal agent en tant als impactes que podem determinar avui dia, i responsable a la vegada dels desequilibris dinàmics que suporta el sistema platja-duna (Goy *et al.*, 1997). La transformació territorial de la zona ho ha estat de bades pel medi físic de la zona, sinó que d'ell se n'han derivat actuacions irreversibles – per exemple la destrucció integral del sistema dunar de Can Picafort –. A part dels efectes *in situ*, algunes de les actuacions dutes a terme a la platja urbana de Can Picafort també han afectat indirectament la franja natural d'es Comú. les distintes regeneracions artificials de sediment dutes a terme al llarg de les darreres dècades han suposat canvis en la morfologia del tamany de gra (Mir-Gual, 2011), ja que amb una deriva litoral S-N, el sediment artificial ha estat transportat de cap a la franja natural (Servera, 2004;

Basterretxea *et al.*, 2007).

Molts dels problemes que avui afloren a la zona d'estudi, al igual que en molts altres indrets arreu de l'illa, són conseqüència directa d'una mala gestió, o en molts casos, d'una gestió inexistent. Al llarg dels darrers decennis la gestió de les platges ha estat marcada per la preocupació de complir amb les normes bàsiques d'higiene, i per la instal·lació de certs serveis destinats a l'oci i recreació d'usuaris, però en cap cas concebant aquests espais com elements naturals, fràgils i dinàmics (Roig-Munar, 2004). El fet de fer funcional aquests espais ha dut com a conseqüència greus problemes de conservació i estabilitat pels sistemes litorals naturals (Roig-Munar, 2003), que no tan sols són palpables a mig-llarg termini, sinó que també poden aparèixer en una escala anual.

Tenint en compte la situació viscuda per la zona d'estudi al llarg de les darreres

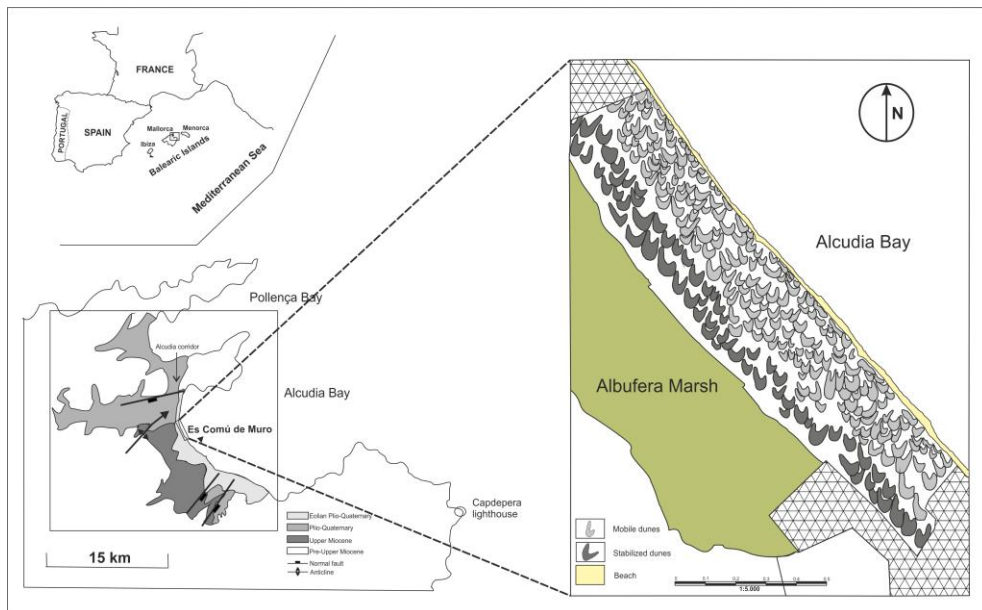


Fig. 1. Localització de la zona d'estudi i esquema geomorfològic del sistema dunar.

Fig. 1. Location of study area and a geomorphological sketch of dune system.

dècades, el present treball pretén establir un breu estat de la qüestió sobre la fisonomia que avui dia presenta el sistema platja-duna d'es Comú de Muro, considerant quina és la dinàmica de la platja alta, analitzant amb quin estat de conservació es troba el front dunar, i finalment valorant les actuacions antròpiques dutes a terme en els bosc de *Pinus halepensis* associat al sistema.

Descripció de la zona d'estudi

Descripció física i geomorfològica del sistema

El sistema dunar d'es Comú de Muro es localitza al quadrant nord-oriental de la illa de Mallorca (Fig. 1), formant part del municipi de Muro. El sistema estudiat té una superfície aproximada als 0.5 km² i un front d'una 1.5 km de longitud. El sistema platja duna queda limitat a l'oest per la zona humida de s'Albufera de Mallorca. El sistema dunar es localitza a sobre d'una fletxa arenosa formada a partir d'una deriva litoral amb sentit S-N entre els 6500 i 2400 ¹⁴C yr BP (Goy *et al.* 1997). El sistema actual està format per dunes parabòliques, amb formes simples i compostes, construïdes principalment amb vents de direcció N. D'acord amb l'anàlisi fotomètric es poden distingir tres grans zones (Fig. 1): un cordó de dunes embrionàries o *echo-dunes*, un cordó de dunes mòbils o semi estabilitzades per vegetació herbàcia i llenyosa, i un cordó de dunes estabilitzades principalment per un bosc de *Pinus halepensis*.

La platja ocupa una superfície aproximada als 42.851 m², amb una amplada que oscil·la entre els 5 i 25 m. Avui dia no és possible identificar clarament un cordó de *foredunes* ja que, conseqüència de la pressió humana sostinguda al llarg de les darreres dècades ha desaparegut. No obstant s'hi pot identificar la presència d'algunes

formacions arenoses embrionàries a la part superior de la platja emergida, normalment associades a la presència de vegetació herbàcia psammòfila. Les dunes mòbils es desenvolupen en una franja que es mou entre els 200-300 m d'amplada, ocupant una superfície de 40 ha, i disposades paral·lelament a la línia de costa. Les dunes són principalment semi estabilitzades i es diferencien en dues franges. La primera es caracteritza per la presència de formes erosives *blowouts*, les quals han generat un increment en l'estat de fragmentació del sistema al llarg del temps. el segon cordó és més ample i està fixat principalment per vegetació llenyosa de format arbustiu – *Juniperus oxycedrus* subs. *macrocarpa* i *Pinus halepensis* – (Servera, 1997).

La badia d'Alcúdia (Fig. 1) és d'origen estructural, i està limitada per falles normals de direcció NE-SW als seus marges, on hi aflora el Mesozoic. Segons afirmen Servera *et al.* (2009) la part submergida de la Badia és una continuació de la depressió central de l'illa. Des d'un punt de vista geotectònic la badia es troba dividida en dues zones diferenciades: una zona subsident al nord, i una zona més estable a la part sud. El sistema platja-duna d'es Comú es localitza al primer sector. La geomorfologia mostrada per la pròpia badia ha estat factor condicionant en tant a la formació i desenvolupament del sistema dunar d'es Comú. L'existència de dos caps –penínsules–, disposades NE-SW, protegeix gairebé la totalitat de la badia dels vents del nord, excepte a la zona del corredor d'Alcúdia (Fig. 1) definit per Gelabert *et al.* (2002) i Servera *et al.* (2009) com una zona depressiva de direcció N-S causada per l'erosió diferencial de turbidites Miocenes en relació al context de calcàries del Juràssic, i que permetent l'entrada dels vents de Tramuntana ha ajudat a la formació i desenvolupament del

camp dunar d'es Comú de Muro. Aquest mostra avui dia notables problemes de degradació geomorfològica, principalment a la seva primera línia. Les causes es relacionen principalment amb activitats de naturalesa antròpica, les quals es podrien dividir en 3 accions: els processos urbanitzadors al nord i sud del sistema, la pressió d'usuaris, principalment sobre la platja emergida i la línia de *foredunes*, i l'increment i diversificació d'activitats a la zona submergida del sistema (Servera, 2002; Mir-Gual i Pons, 2011). No obstant les tècniques de gestió aplicades s'han centrat principalment en cobrir serveis de cap als usuaris, incloent la neteja de platges amb tècniques pesades, contribuint a incrementar la tendència erosiva amb els anys (Roig-Munar et al., 2009).

Caracterització climàtica

Considerant la caracterització climàtica de la zona ja establerta per Servera et al. (2009), tenint en compte només els dies amb velocitats de vent que excedeixen els 4 m/s (d'acord amb Bagnold (1954) y Klijn (1990), el llindar crític per arenes mitges, com són les arenes de la badia d'Alcúdia – el 60% es troben entre els 0.25-0.5 mm (Jaume i Fornós, 1992) – és de 4.5 m/s. Segons el far de Capdepera (Fig. 1) els vents del nord foren els principals en el 41% del dies en el període 1960-1981 (Servera, 1997). En el cas del far de Formentor, els vents predominants són els de component oest (26.6 %) seguits dels de component nord (17.4 %). El sector septentrional de la badia d'Alcúdia queda protegit dels vents de component nord i oest a conseqüència de la Serra de Tramuntana; no obstant, la presència del corredor d'Alcúdia (Fig. 1) permet la canalització de vents de Tramuntana amb incidència directa sobre el sistema dunar d'es Comú.

La costa està afectada per un règim micro-mareal amb oscil·lacions inferiors al 0.25 m. Estimacions preses en el període 1996-2003 indiquen que les ones inferiors a 1 m predominen en el 70 % del total, amb intervals d'entre 4 i 7 s. Els temporals de mar, amb ones superiors als 3 m, no són recurrents, produint-se tan sols en un 3 % i amb notables diferències si es consideren l'estiu i l'hivern per separat (Basterretxea et al., 2007; Servera et al., 2009).

Objectius i mètodes

Els sistemes platja-duna de les Balears es caracteritzen pel seu alt grau de fragilitat i vulnerabilitat, principalment vers als impactes induïts per la gran quantitat de factors naturals que hi intervenen, a més de la mà de l'home. Es Comú de Muro esdevé un bon exemple per explicar la situació actual d'aquests ambients a l'illa de Mallorca, i per experimentar sobre el seus processos de degradació. Es marca com a objectiu principal doncs establir una caracterització del sistema platja-duna que ens ocupa a fi de veure quina és la seva situació actual i les problemàtiques que en deriven. Per això es duen a terme diverses campanyes de mostreig al camp abondant en el seu conjunt tot el sistema a fi de conèixer quina és la dinàmica de la platja a escala anual, alhora de conèixer també la diferència de comportaments entre una platja urbana (Can Picafort) i una natural (es Comú), valorar l'estat de conservació de la primera línia de dunes – imprescindible per la conservació de tot el sistema –, o bé conèixer les alteracions antròpiques dutes a terme en la part consolidada del sistema dunar.

Per prendre coneixement del comportament anual de la platja emergida es rea-



Fig. 2. Localització dels perfils de platja.

Fig. 2. Location of the beach profiles.

litzen 6 perfils, 3 al llarg de la platja urbana de Can Picafort (límitrofe amb la zona d'estudi), i 3 a la platja natural d'es Comú de Muro, la qual forma part del Parc Natural de s'Albufera de Mallorca (Fig. 2). La determinació i geolocalització dels perfils s'ha dut a terme a través de GPS, model Garmin Dakota20, a fi de localitzar amb precisió el punt de referència per a cada un dels perfils i així aconseguir el mateix punt de partida en cada un dels dies de mostreig. El treball de camp es va dur a terme al llarg d'un any, amb una recurrència aproximada als dos mesos, amb la finalitat de prendre perfils en cada una de les estacions. Les dades que es presenten són concretament dels dies 13/06/09, 27/08/09, 27/10/09, 30/01/10, 27/03/10, 29/05/10.

La medició i el càlcul dels perfils realitzats, i prenent com a referències els

mètodes utilitzats per Emery (1961), Delgado i Loid (2004), Puleo *et al.* (2008) i Mir-Gual (2009), s'han realitzat amb pantòmetres d'1,5 x 1,5 m (Fig. 3) a fi de poder traçar perfils bidimensionals amb eixos de longitud (x) i altura (y). El punt de referència per a cada una de les mesures ha estat l'inici de cada perfil, deguda la seva poca variabilitat (inexistent en el cas de la platja urbana), i el gran dinamisme de l'altre possible punt de referència, la zona d'*swash*. La presa de dades per a cada perfil aborda tota la superfície de la platja alta (*backshore*), així com els primers metres del *nearshore*, depenent de l'existència o no de barres submergides i de la seva distància amb la zona d'*swash*. Posteriorment, la informació presa al camp ha estat processada baix el mètode que proposen Puleo *et al.* (2008).

L'estat de conservació actual del front

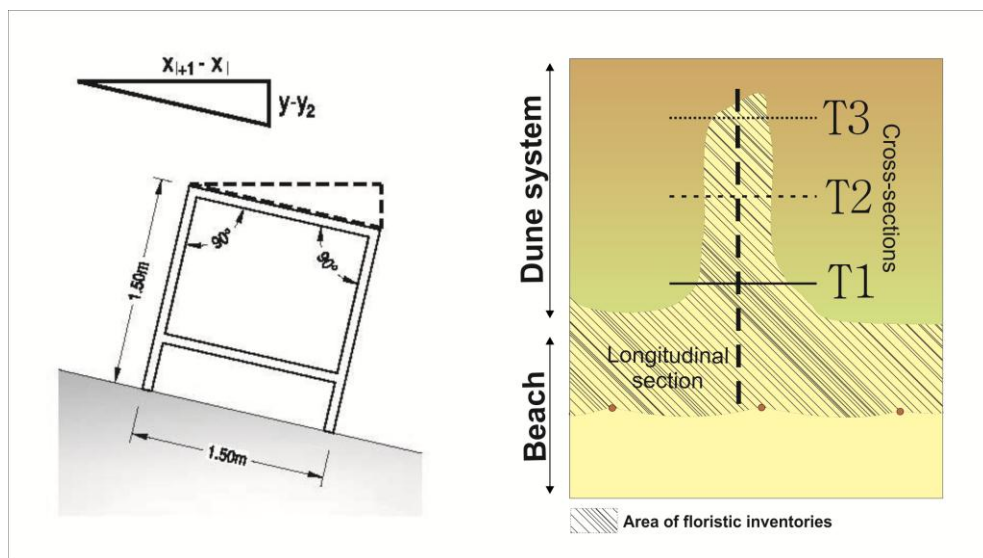


Fig. 3. Esquema del pantòmetre. A la dreta, localització dels perfils topogràfics realitzats.

Fig. 3. Beach profiler (pantometer) scheme. At right, the location of cross sections made.

dunar s'estudia a partir de l'anàlisi de les formes erosives *blowout*. La classificació morfològica de les formes *blowout* existents s'ha dut a terme a partir de l'anàlisi estereoscòpic de fotografies aèries en una sèrie temporal de 52 anys, de 1956 a 2008 (escala aprox. 1:18000), i a partir de campanyes de camp prenent com a punts de referència les descripcions fetes per Cooper (1958) i Hesp (1996), i la classificació ja establerta per Mir-Gual i Pons (2011). A més, l'anàlisi estereoscòpic també s'utilitza per definir les orientacions de cada una de les formes estudiades, les quals han estat processades amb el software OpenRose 0.01.

Els perfils topogràfics interns, al igual que els perfils de platja, es realitzen a partir de l'ús de pantòmetres 1,5 x 1,5 m i 0,5 x 0,5 m, seguint també el mètode utilitzat per Emery (1961), Delgado i Loid (2004), Puleo *et al.* (2008) i Mir-Gual (2009). Per a cada *blowout* s'hi ha realitzat 3 perfils

transversals, localitzats a la boca (T1), a la meitat (T2) i a l'interior (T3) respectivament, i una secció longitudinal des de la part interior fins a la part superior de la platja alta (Fig. 3). No obstant, el nombre de perfils interiors realitzats ha anat en funció de les dimensions de cada forma analitzada, arribant en algunes ocasions a 5 perfils.

Per a conèixer l'estat de conservació des d'un punt de vista ecològic es realitzen inventaris florístics diferenciant entre vegetació herbàcia i llenyosa, prenent com a àrea de mostreig cada un dels *blowouts* estudiats (Fig. 3). Els inventaris s'han dut a terme considerant la presència / absència de cada espècie en cada un dels punts de mostreig. La informació de camp ha estat processada a partir del software Primer 6. Amb l'objectiu d'establir patrons d'associacions entre espècies s'han realitzat anàlisis *cluster* a través de l'índex *Bray Curtis similarity*.

Finalment, la caracterització de la franja de dunes mòbils, situada a la part més interna del sistema, es du a terme a través de la caracterització de la seva massa boscosa i de l'anàlisi d'individus de *Pinus halepensis*. D'aquesta manera, i seguint els mètodes aplicats per Roig-Munar *et al.* (2009) i Mir-Gual *et al.* (2010), es pren una mostra representativa de 60 individus els quals són mesurats mètricament a una altura aproximada als 130 cm des de la superfície. Posteriorment, la circumferència mesurada es reconverteix al diàmetre de cada un dels individus mostrejats. La selecció de les mostres ha estat aleatòria, no obstant sempre intentant assumir la major superfície possible arreu del sistema, tot per obtenir una informació espacial representativa. No obstant, en el cas d'es Comú, la diferència evident entre dos estrats arboris diferenciats ha determinat que en el mostreig s'hagin diferenciat entre individus vells i joves, que amb unes altures i diàmetres diferenciables, projecten clares evidències en quant al seu estat de desenvolupament.

Resultats

Dinàmica de la platja d'es Comú de Muro i Can Picafort

La línia de costa compresa entre els sectors de Can Picafort i es Comú de Muro ha rebut variacions importants al llarg de l'any de mostreig (Fig. 4). No obstant, la dinàmica mostrada entre els dos sectors presenta diferències notablement apreciables. En termes generals, la variabilitat de la platja urbana ha estat considerablement més elevada que en el cas dels sectors manco antropitzats. Els patrons de freqüentació i les tècniques utilitzades per gestionar la platja emergida, a través de maquinària pesada, susciten una alta

correlació en tant al canvi en els perfils de platja. La zona compresa entre els perfils 1 i 3 (Fig. 4), els quals pertanyen a la platja urbana, és la de major variabilitat, mentre que la seva prolongació de cap al nord dibuixa un traçat de línies més homogènies, reflectint així el comportament que s'ha registrat a la zona central d'es Comú. El retorn a l'heterogeneïtat de cap al sector nord de la platja respon de nou a causes antròpiques. El fet de coincidir amb una de les principals entrades a la platja, una zona de pàrquing i el límit de la planta hotelera de les Platges de Muro, fa que la tendència de variabilitat repeteixi els patrons seguits a la platja urbana. Per adoptar més precisió, la variabilitat de perfils respecte a la mitjana (33,67 m) confirma la hipòtesi exposada. D'aquesta manera, les mesures individuals dels perfils 1 (38,33 m), 2 (37,33 m) i 3 (43,92 m) són les que discerneixen més de la mitja global, mentre que en la zona central d'es Comú, en el perfil 5 (19 m), la variabilitat disminueix, inclús per sota de la mitjana.

Els canvis en tant a la posició de la línia de costa també assumeixen diferències a escala temporal. Segons els mostrejos presos, les màximes longituds a la platja alta es donen al llarg dels mesos hivernals, de temporada baixa, moment en que la freqüentació i ús de la platja és de menor intensitat. Així es veu com les mitjanes més altes les trobem en els mesos de gener (40 m), març (38,5 m) i maig (35,5 m), mentre que les mínimes es produeixen en els mesos en que l'ús i l'explotació de la platja és més elevada, juny (31 m), agost (28,8 m) i octubre (28,4 m) (Fig. 5).

La variabilitat dels perfils de platja mesurats no tan sols es detecta en la seva longitud, sinó que també en el seu desnivell. Prenent com a referència inicial les mitjanes per a cada un dels perfils al llarg del període de mostreig, dues

associacions són les que es mostren representatives ja en primera instància (Fig. 6). En primer lloc, la correlació entre el perfil 1 i 2 – platja urbana – és quasi bé perfecta, amb un traçat de platja molt similar, i amb un desnivell mitjà que s'aproxima als -4 m. Els dos transectes, sent els dos únics que tenen com a punt de referència el passeig marítim, dibuixen un perfil suau i amb poques alteracions. En segons instància, es veu una nova associació formada per la resta de perfils,

més heterogènia i amb un desnivells que oscil·len entre els -4 i -6 m. Dintre d'aquest últim grup, es percep una diferència entre els perfils 5 i 6, ambdós localitzats de ple dins la franja més natural de la platja, i els perfils 3 i 4, associats a la zona de transició entre els dos sectors. Tot i que aquestes diferències no es caracteritzen per la seva rellevància, tan sols es manifesten a la part emergida de la platja, ja que com es pot observar, la correlació observada a la zona de *nearshore* i *swash* és palpable.

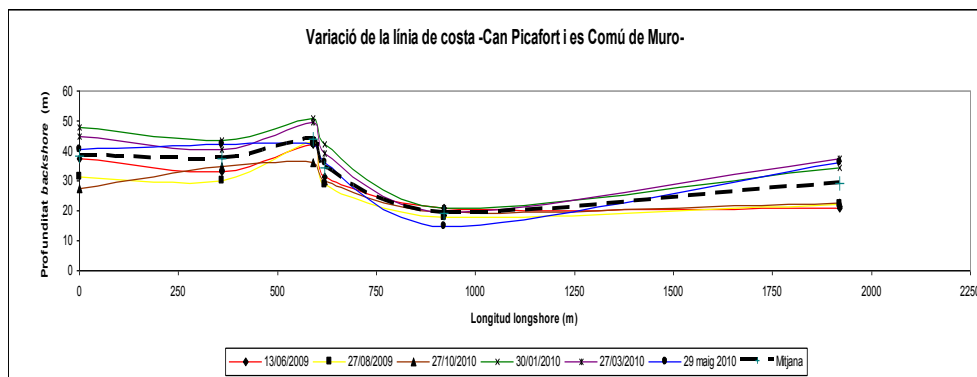


Fig. 4. Representació gràfica de la variació anual de la línia de costa en el sector estudiat.

Fig. 4. Graphical sketch of the coastline annual variation along the studied sector.

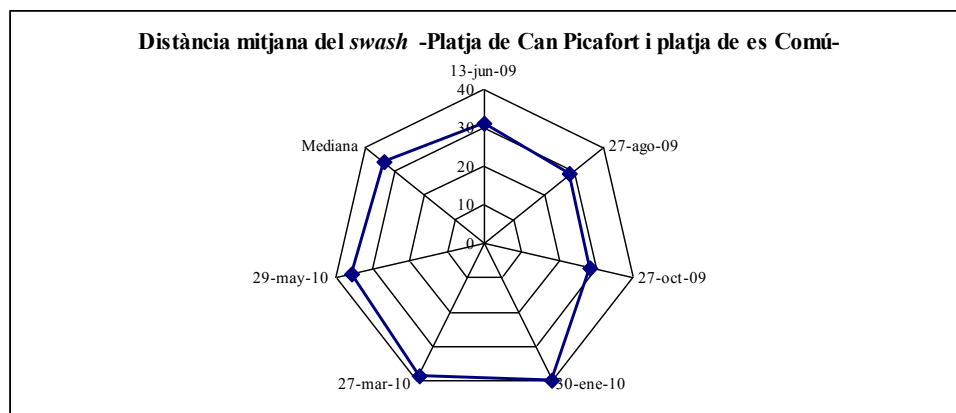


Fig. 5. Representació de la distància del punt d'swash per cada dia de mostreig.

Fig. 5. Mean swash distance for each of sampling days.

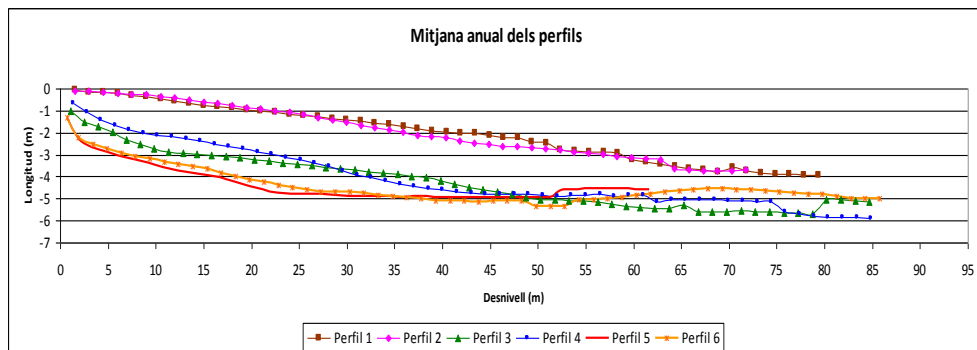


Fig. 6. Representació gràfica dels perfils mitjans anuals a la platja de Can Picafort i es Comú de Muro.

Fig. 6. Graphical sketch of the annual mean profiles in the beach of Can Picafort and es Comú de Muro.

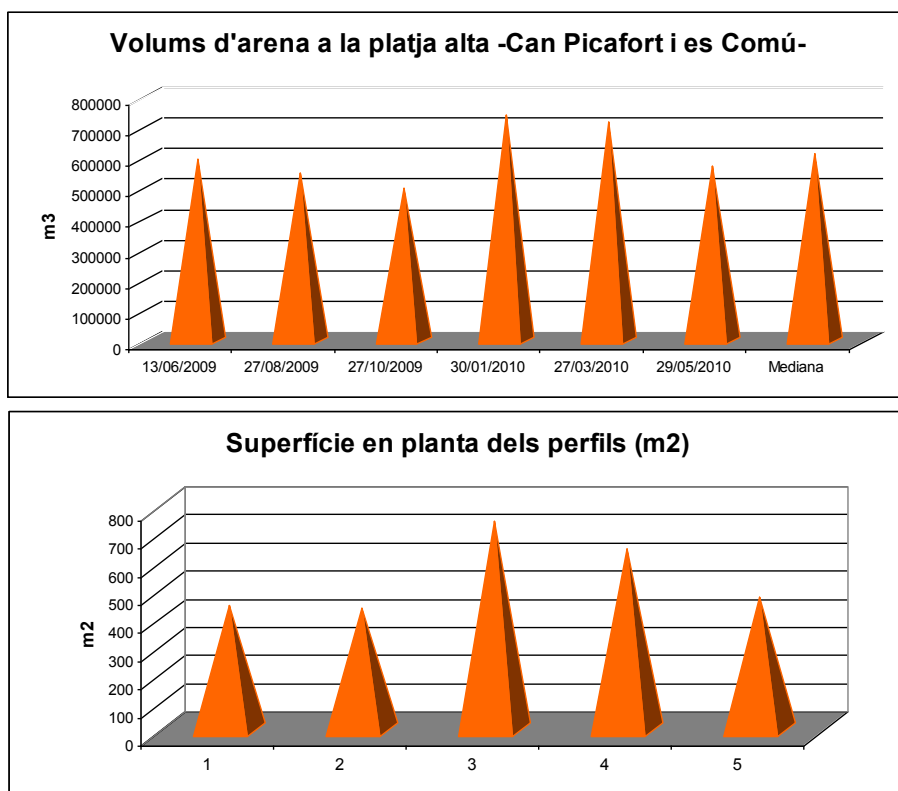


Fig. 7. Volums sedimentaris per dies de mostreig.

Fig. 7. Sedimentary volume in sampling days.

Les variacions longitudinals i verticals dels perfils duen en sí canvis en el depòsit de sediment de la platja. Així s'han calculat els volums mitjans per dies de mostreig en la platja alta dels sectors estudiats (Fig. 7) derivant-se alguns canvis dignes de comentar. Hi ha una forta correlació entre l'existència de bermes de *P. oceanica* i els dies de major volum sedimentari. Així, queda clarament reflectit com en els mesos hivernals, moment en que les bermes vegetals són més presents i recurrents al llarg de la línia de costa, s'assoleixen les xifres màximes en quant a m³ d'arena, assumint-se el màxim al mes de gener, amb un total de 740.930 m³, seguit del mes de març, arribant als 715.933 m³ de platja. De fet, si aquesta informació es verifica amb la variació temporal de la línia de costa (Fig. 5), es torna a apreciar com les cotes màximes coincideixen de nou amb els dies de mostreig presos al hivern. En segon lloc, un altre factor natural a ser considerat n'és la presència de barres submergides arenoses adherides a la zona de *foreshore*.

Dels perfils presos, s'aprecia com les barres arenoses en el mes de gener, i una mica manco al mes de març, tendeixen a estar adherides a la part inferior de la platja alta, potenciant alhora majors longituds. A mode d'exemple, en el cas de gener, dels 6 perfils mostrejats, en 5 es troben barres submergides, estant aquestes adherides a la platja emergida en 4 dels casos. En quant als mínims, aquests es localitzen al octubre, al final de la temporada estival. No obstant, per una correcta interpretació cap girar la vista enrere a fi d'observar la seqüència que es segueix des del mes de juny. En aquest període de temps s'aprecia una disminució progressiva, i a la vegada considerable, del volum de sediment en el backshore, passant de 594.594 m³ al juny, a 548.779 m³ al mes d'agost, per arribar al mínim enregistrat en

octubre, amb un volum de 500.066 m³, coincidint de ple amb els mesos de màxima freqüentació de la platja. El cas del mes de maig queda un tant aïllat, amb un volum que es situa als 572.746 m³, fet que suposa una disminució important en front als valors registrats en els mesos de gener i març. La mitjana anual del volum d'arena en la platja alta de Can Picafort i es Comú de Muro es situa en els 612.174 m³.

Caracterització del front dunar.

Anàlisi de les formes erosives blowout

Al llarg de la platja d'es Comú de Muro es localitzen distribuïdes desuniformement un total de 58 formes *blowout*, derivant amb un front dunar altament fragmentat. No obstant aquestes es donen amb diferents densitats. En aquest sentit, les màximes es troben a la part central de la platja, així com també a les zones que coincideixen amb les entrades principals. Entre els *blowouts* analitzats destacar el BOC2, BOC10 i BOC30, que d'acord amb les seves dimensions, són els que major fragmentació suposen (Fig. 8).

Dimensions de les formes blowout

La longitud mitjana de les formes analitzades és de 18.6 m. La màxima longitud es localitza al BOC10, amb 62.81 m, que alhora coincideix amb una de les principals entrades a la platja, avui dia tancada al pas dels usuaris. D'altra banda, el desnivell mitjà dels punts de mostreig és de 2.65 m, localitzant la màxima al BOC3 amb 4.01 m, i la mínima al BOC10 amb 0.08 m.

Considerant doncs les variables de longitud i desnivell, la pendent mitjana que presenten els *blowouts* al front dunar d'es Comú és del 18.6%. La màxima es troba al

BOC5 amb el 47.71%, mentre que la mínima es localitza al BOC10, sols amb el 0.13%. En aquest sentit es mostra una relació directa entre els *blowouts* més llargs i aquells que presenten una menor pendent, tal i com es reflecteix per exemple al BOC10, amb una longitud de 62.81 m i tan sols una pendent del 0.13%. L'aplicació de l'índex de Pearson mostra relacions negatives entre les variables de longitud i desnivell, $r = -0.46$, i longitud i pendent, $r = -0.78$.

Orientació del blowouts

Les formes erosives analitzades responen a tres orientacions principals (Fig. 9). D'acord a les característiques físiques de la badia d'Alcúdia i a la seva obertura

estructural, les principals orientacions són principalment NNE-SSO, seguides de ENE-OSO. En termes quantitatius, de les 58 formes erosives analitzades 40 responen a una direcció NNE-SSO, representant el 68.97% del total. D'altra banda 14 de les formes tenen una orientació ENE-OSO, suposant el 24.14%, i només 4 responen a una orientació NE-SO, representant el 6.9%. Amb tot, l'orientació mitjana de la sèrie mostrejada respon als 38.53°, emmarcant-se dins una orientació NNE-SSO.

Morfometria internat i perfils topogràfics

Existeixen clares diferències topogràfiques en funció de les seccions realitzades. L'amplada dels *blowouts* disminueix des de

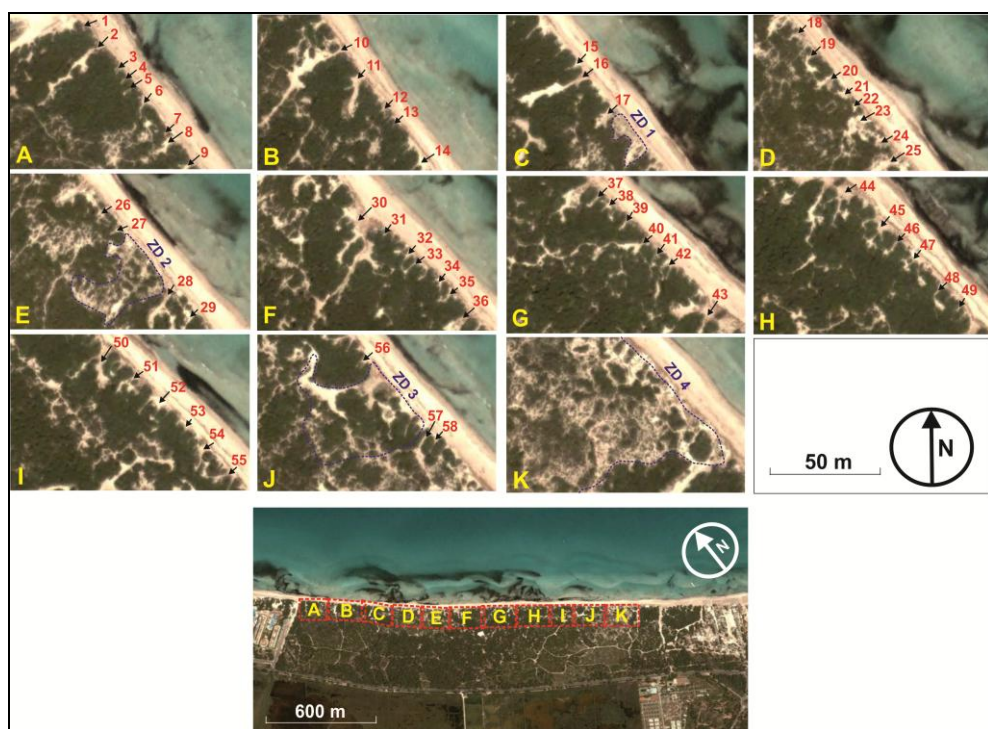


Fig. 8. Localització dels blowouts analitzats. Platja d'es Comú de Muro.

Fig. 8. Location of the blowouts analyzed. Beach of es Comú de Muro.

la boca cap a l'interior. Aquesta tendència queda reflectida amb els valors mitjans de $T1 = 4.91$ m, $T2 = 2.78$ m i $T3 = 3.39$ m. No obstant hi ha algunes excepcions a on l'amplada de T3 és superior a la de T1 i T2. Tot i que no és un fet freqüent, i d'acord amb el que diuen Glenn (1979) i Carter *et al.* (1990), algunes vegades la part interior del *blowouts* assumeix una major amplada, normalment responent a l'existència de lòbuls de deposició sedimentaria. Aquest fet es dona en alguns casos, com al BOC11 a on l'amplada de T3 (14.73 m) és superior a la T1 (8.39 m) i T2 (5.01 m).

La màxima amplada de T1 es localitza al BOC43 amb 15.91 m, mentre que la mínima ho fa al BOC1, amb només 1.6 m. Pel que fa a T2, el valor màxim es troba al BOC21, amb 7.01 m, mentre que el mínim

es localitza al BOC12, amb 1.16 m.

Finalment, la màxima de T3 es dona al BOC11, amb 14.73 m, i la mínima ho fa al BOC3, amb tan sols 0.98 m. Generalment les topografies dibuixades per la secció T1 són planes i homogènies, especialment en la seva part central, i amb parets laterals lleugerament escarpades.

No obstant, una altra característica d'aquesta secció n'és l'existència de solcs de deflació, especialment en la seva part central, com es mostren per exemple al BOC2 o BOC6 (Fig. 10). Hi ha una relació directa entre la presència d'aquests solcs i l'existència de parets laterals molt escarpades. Algunes vegades aquests solcs de deflació es poden prolongar fins arribar a les parts més interiors del *blowouts*, especialment si aquests elements presenten

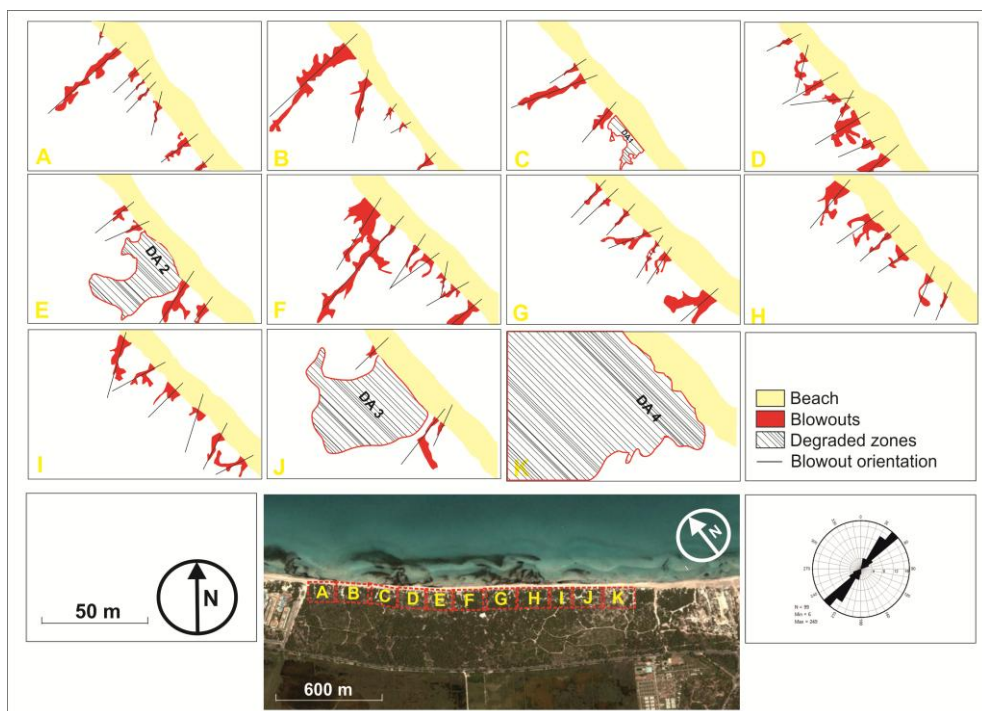


Fig. 9. Orientació dels blowouts analitzats. Platja d'es Comú de Muro.

Fig. 9. Orientation of the blowouts analyzed. Beach of es Comú de Muro.

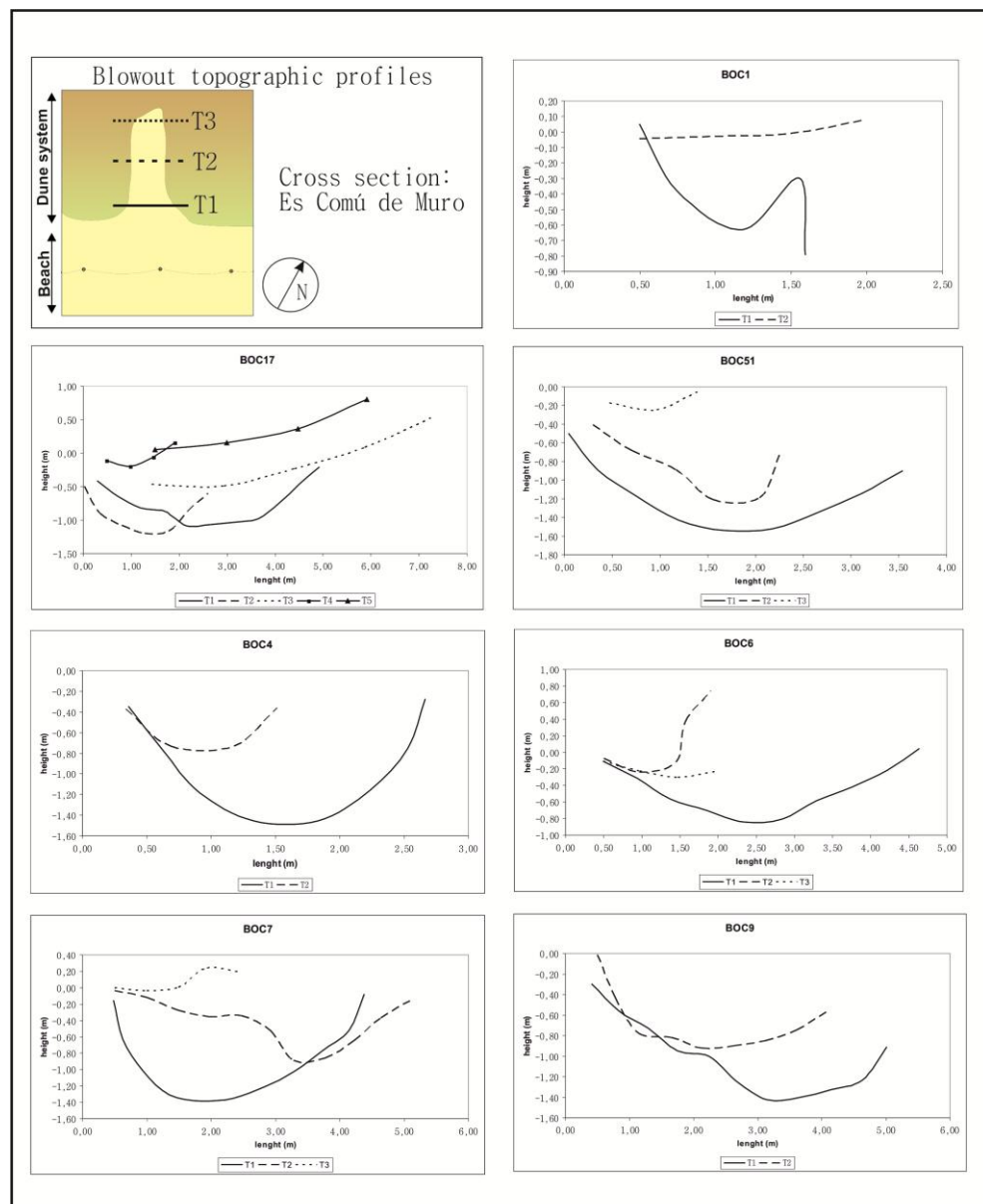


Fig. 10. Alguns exemples representatius de perfils topogràfics interns.

Fig. 10. Some representative examples of the inner topographic profiles.

superfícies planes, sense una pendent molt forta.

Classificació morfològica

La classificació que es proposa en aquest treball té com a punt de referència les fetes per Cooper (1958) i Hesp (1996; 2002), i està basada amb la que Mir-Gual i Pons (2011) ja establiren vers als *blowouts* existents a la platja d'es Comú de Muro. D'acord amb la forma adoptada és possible diferenciar entre dues tipologies (Fig. 11). En primer lloc les morfologies *trough*

blowout, les quals representen el 56.9% del total, mentre que en segon lloc s'hi identifiquen les morfologies mixtes (*mixed shapes*), que alternen morfologies *trough* i *saucer*, representant el 43.1% de la sèrie estudiada. Destacar que al llarg de la primera línia de dunes d'es Comú no s'identifica cap *saucer blowout*, normalment més característics a les zones interiors.

Inventaris florístics

La importància de la vegetació és una

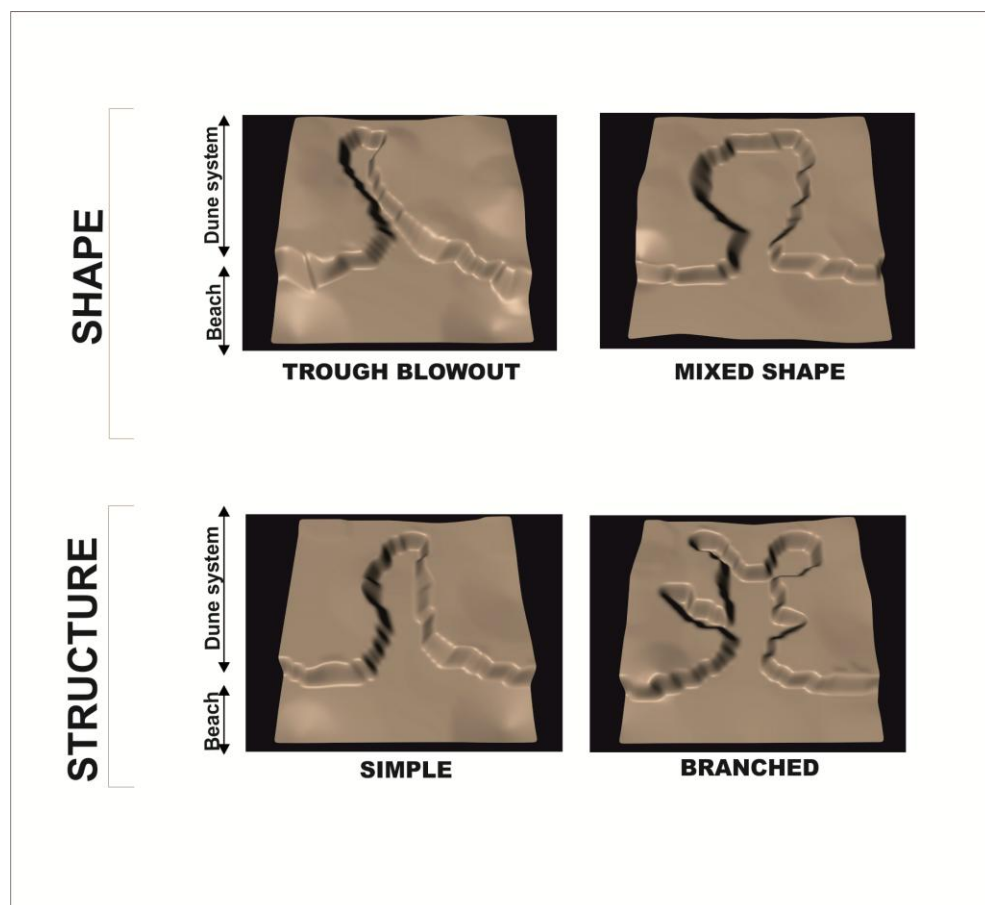


Fig. 11. Classificació morfomètrica dels *blowouts* a partir de la seva forma i estructura.

Fig. 11. Morphometric classification of *blowouts* from their shape and structure.

de les variables importants a tenir en compte a l'hora de caracteritzar un front diferenciar entre la vegetació herbàcia i la llenyosa. Al llarg de la primera línia de dunes d'es Comú s'identifiquen 19 espècies herbàcies principals. En tant al seu nivell de recurrència, les espècies més comunes, amb ratios que oscil·len entre $58 < n < 40$, són *Ammophila arenaria* i *Lotus cystisoides* (100%), *Eryngium maritimum* (94,83%), *Pancratium maritimum* i *Cutandia maritima* (86,21%), *Aetheorhiza bulbosa* subs. *bulbosa* (82,76%), *Matthiola incana* (79,31%) i *Crucianella maritima* (74,14%). En segon lloc, i amb patrons de recurrència que oscil·len entre els $40 < n < 15$ hi trobem *Crithmum maritimum* (55,17%), *Euphorbia paralias* (43,10%), *Cakile maritima* (31,03 %), i *Helichrysum stoechas* (27,59%). Finalment, les espècies amb una recurrència $n < 15$ són *Plantago crassifolia* (20,69%), *Medicago maritima* (17,24%), *Sonchus oleraceus* (13,79%), *Anagallis arvensis* (10,34%), *Beta maritima* subs. *maritima* (8,62%) i *Teucrium dunense* (3,45%).

En quant al nivell d'associació entre espècies, i considerant la seva presència i/o absència, es distingeixen tres grups els quals presenten diferents patrons de similaritat (Fig. 11). Un primer grup (A), compost per 8 espècies: *Crucianella maritima*, *Aetheorhiza bulbosa* subs. *bulbosa*, *Matthiola incana*, *Pancratium maritimum*, *Cutandia maritima*, *Eryngium maritimum*, *Ammophila arenaria*, i *Lotus cystisoides*; es caracteritza per l'alt grau d'associació entre les espècies que el conformen, inclús arribant a patrons de coincidència del 100%, tal i com ocorre amb *Ammophila arenaria* i *Lotus cystisoides*. En termes generals, el nivell mitjà d'associació en el grup A es mou entorn al 80-100%.

Un segon grup (B) està format per un total de 9 espècies: *Crithmum maritimum*, *Euphorbia paralias*, *Cakile maritima*, *Helichrysum stoechas*, *Sporobolus pungens*, *Plantago crassifolia*, *Sonchus oleraceus*, *Beta maritima* subs. *maritima*, i *Anagallis arvensis*, i es caracteritza per patrons d'associacions entre espècies que es mouen entre el 65-20%. Finalment, el darrer grup (C) és el menys representatiu, format sols per 2 espècies: *Teucrium dunense* i *Medicago maritima*.

La situació presentada per la vegetació llenyosa és més simple que el cas anterior, no només pel nombre total d'espècies identificades, sinó també pel grau d'associació que aquestes presenten. En total s'han identificat un total de 9 espècies llenyoses principals les quals es poden distingir entre 3 grups (Fig. 12). El primer grup (A1) està format per 4 espècies les quals mantenen índexs de similitud que es mouen entre el 65-90%. L'associació més important en tant a les llenyoses es dona entre *Pinus halepensis* i *Juniperus oxycedrus* subs. *macrocarpa* (90.56 %), ambdues unides també amb *Smilax aspera*. Un segon grup (B1), amb valors associatius lleugerament inferiors al cas anterior, està format per 3 espècies: *Rosmarinus officinalis*, *Thymelaea velutina* and *Phillyrea angustifolia*, mentre que un darrer grup (C1) només està format per *Halimium halimifolium*, caracteritzada per la seva poca presència al llarg de la primera línia dunar d'es Comú.

Caracterització de la massa boscosa de *P. halepensis* i actuacions antròpiques condicionants

Els resultats de la dinàmica de les explotacions forestals a la zona d'es Comú

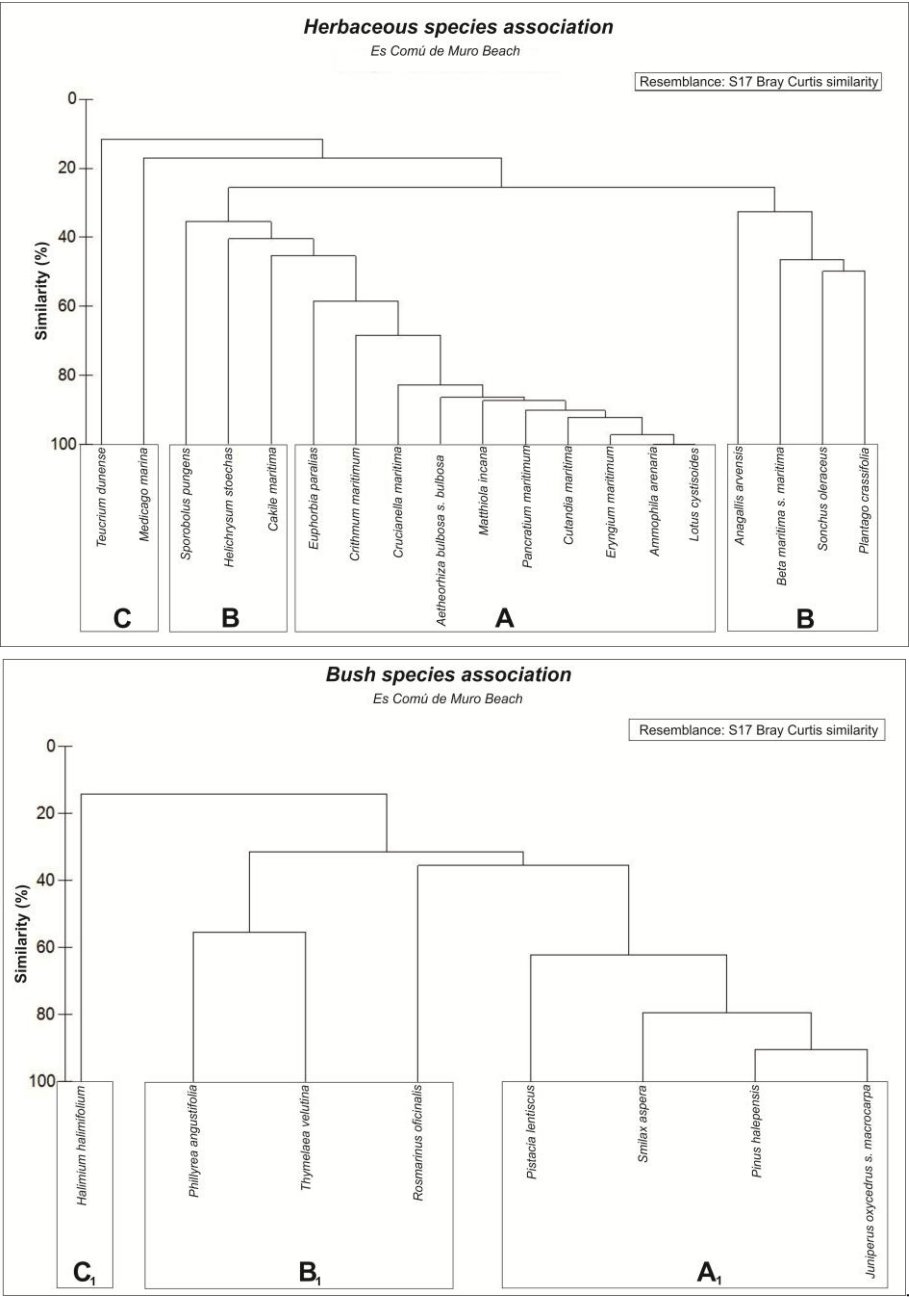


Fig. 12. Anàlisi *cluster* de les espècies herbàcies (superior) i llenyoses (inferior) analitzades.

Fig. 12. Cluster analysis of the herbaceous (lower) woody (upper) species analyzed.

encara romanen presents avui. L'aprofitament forestal al llarg de segles, les tales abusives i continuades, i la manca de control han fet que actualment es distingeixin dos estrats arboris clarament diferenciats. A més, de l'anàlisi sobre fotogrames aeris se'n deriva que aquesta activitat forestal es va practicar fins ben entrat el segle XX (Barceló, 2004). No obstant, la situació derivada a la zona després de l'inici de l'activitat turística no ha potenciat, en cap moment, la recuperació ecològica de la zona. Des dels primers assentaments urbano-turístics al llarg de la costa a la badia d'Alcúdia, es Comú ha esdevingut una zona altament freqüentada, habilitada fins a finals dels anys 90 com a zona de picnic i càmping. Aquest escenari ha suposat que avui, l'associació de pins joves a es Comú, es postulín com un fiable indicador de la importància que les intervencions de caire antròpic hagin pogut tenir.

Segons Mir-Gual *et al.* (2010), al cas d'es Comú n'ha estat precís establir una diferenciació entre els individus mostrejats degut a la diferència entre la seva mida i edat. Així, es distingeix entre pinar més

jove i més vell, que, tal i com es percep a la Fig. 13, discerneixen notablement en tant a la tendència seguida en els diàmetres d'ambdós casos.

La diferència (21.8 cm) entre les mitjanes de pins joves (14.68 cm) i adults (36.57 cm) reflecteix quantitativament la diferència entre les edats d'ambdues categories. Els pins de més edat es manifesten a través de característiques plenament arbòries, acompanyades d'un sotabosc arbustiu. Aquest estrat es troba a la part més interior del sistema, tot i que al llarg de les darreres dècades ha sofert un cert deteriorament. El pinar jove es troba més proper a la línia de costa, fent frontera a la part interior amb el pinar adult, i a la franja més costanera amb les comunitats arbustives psammòfiles, dominades per *Juniperus oxycedrus* subs. *macrocarpa*.

Conclusions i discussió

La variabilitat de les platges és sens dubte un dels seus trets més característics. Aquestes no es mantenen en una posició fixa, sinó que canvien el seu perfil, confi-

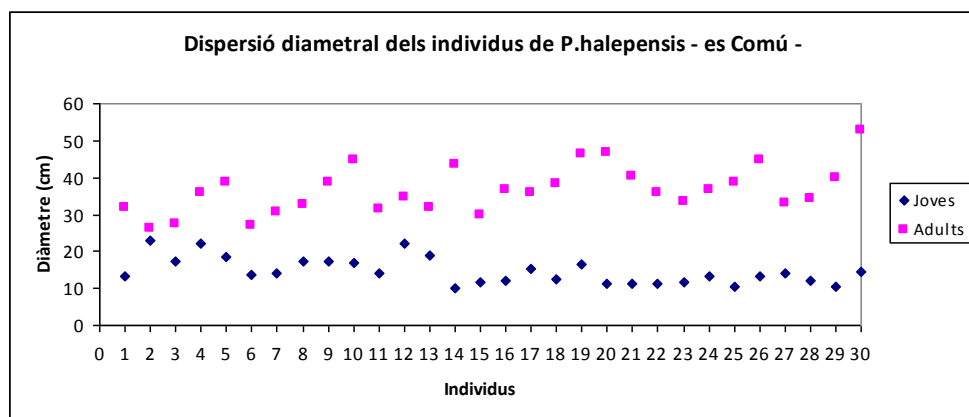


Fig. 13. Diferència de diàmetre entre els individus de *P. halepensis* mostrejats.

Fig. 13. Diameter differences among the *P. halepensis* trees sampled.

guració i planta al llarg del temps. No obstant, aquests espais també queden condicionats per l'acció i el comportament dels seus usuaris, suposant diferències entre els patrons de variabilitat de les platges urbanes i naturals, a on els paràmetres de freqüentació i pressió són distints. Amb els resultats obtinguts es poden treure dues conclusions principals. En primer lloc les diferències en tant al comportament detectat a la platja urbana de Can Picafort en front al que es dona al sector natural d'es Comú de Muro. En segon lloc destacar que la variabilitat de les platges es dona de forma molt dinàmica, no només en una escala temporal, sinó també des d'un punt de vista espacial. En aquest cas la variabilitat de la platja urbana ha estat major que no en el sector més natural. El patrons de freqüentació en primera instància, i les tècniques de neteja utilitzades en segona, susciten una alta correlació en tant a la modificació dels perfils de platja. Així doncs, la primera consideració de la platja no ha d'estar enfocada cap al seu rendiment econòmic sense abans tenir present la seva condició d'espai dinàmic, canviant i vulnerable. Des d'una perspectiva temporal, en temporada hivernal, les acumulacions de *Posidonia oceanica* al *backshore* insten al creixement substancial de la platja emergida, fet que suposa automàticament un augment de la seva longitud. Així, es percep com al gener, moment en que les banquetes de *P. oceanica* assoleixen la seva màxima esplendor, el creixement de la platja alta és patent, allargant la seva longitud i dotant d'unes estructures de defensa la platja emergida front a temporals d'onatge. En detriment a aquesta situació, la retirada d'aquesta fanerògama en vistes posades a la temporada turística, accelera la desprotecció de la platja vers a l'energia refractada per les ones, que junt a l'alteració

provocada per l'ús massiu de l'espai, suposa un retrocés de la línia de costa i per tant també, una disminució de l'espai utilitzable

Les conseqüències de la pressió antròpica, principalment responen a activitats de lleure i recreació, no tan sols deixen constància pel que fa a la platja alta, sinó també arreu de tot el sistema emergit. Un bon exemple d'aquests efectes es troben avui dia al llarg de la primera línia de dunes d'es Comú. Aquesta presenta importants problemes de fragmentació principalment expressats per la presència de formes erosives *blowout*. Així, al llarg d'un front de platja aproximat als 1.5 km s'hi localitzen un total de 58 *blowouts*, distribuïts desuniformament però presentant importants densitats a la part central de la platja i a les entrades principals a la platja des de l'interior del sistema. És possible diferenciar entre 2 tipologies de *blowout* en funció de la seva forma, *trough blowout* i formes mixtes (*mixed shape*), i 2 categories més en funció de la seva estructura, simples o ramificades (*branched*). La longitud de les formes *blowout* és variable, presentant en el seu conjunt una mitjana de 18.6 m. Considerant les seves característiques topogràfiques existeix una relació directa entre els majors *blowouts* i aquells que presenten una pendent més suau, mentre que els de menor longitud són els que presenten una major pendent.

Es manifesta una relació palesa entre l'estat de conservació del front dunar i la presència/absència de vegetació. Amb aquest sentit, i tal i com alguns autors ja han verificat (Pethick, 2001; Hilton i Konlechner, 2011), cap destacar el paper que juga la vegetació, principalment manifestat per la seva capacitat de retenció sedimentària i fixació de morfologies dunars. En el cas d'es Comú en destaca una

diversitat important de vegetació herbàcia, amb un total de 19 espècies psammòfiles. En el cas de les espècies llenyoses la diversitat és inferior, amb un total de 9 espècies. El nivell de recurrència de les espècies en cada un dels punts de mostreig analitzat suggereix un correlació directa entre les espècies més recurrents i aquelles que mantenen una major grau d'associació entre elles, suscitant doncs que hi ha grups d'espècies que representen un major pes ecològic en tant a l'estat de conservació del front dunar d'es Comú. En aquest cas destacar per exemple l'associació que formen *Crucianella maritima*, *Aetheorhiza bulbosa* subs. *bulbosa*, *Matthiola incana*, *Pancratium maritimum*, *Cutandia maritima*, *Eryngium maritimum*, *Ammophila arenaria*, i *Lotus cytisoides*, amb un pes important al llarg de tot el front dunar mostrjat.

Pel que fa al sistema dunar consolidat, aquest, a l'igual que el que succeeix en molts dels boscos de *Pinus halepensis* litorals a les Balears, ha estat notablement influenciat per l'home (Roig-Munar *et al.*, 2009). No obstant, en aquest cas, i a diferència del que ha ocorregut en altres sistemes com Es Trenc o Santa Ponça, l'activitat agrícola no ha estat la que més interferència ha suposat (Mir-Gual *et al.*, 2010) La declaració d'espai comunal ja de cap al segle XIII ha fet que al llarg de mil·lennis l'aprofitament massiu i descontrolat dels recursos forestals hagi suposat una modificació fisonòmica de calat. A més, l'arribada de l'activitat turística a mitjans del segle XX no va obviar aquest indret, sent objectes d'activitats d'oci i lleure que amb el temps han esdevingut perjudicials per l'entorn.

L'assimetria entre les mitjanes en els diàmetres de pins joves i adults (21,8 cm) explica la diferència entre les edats d'ambdues categories. Els pins de més edat

es manifesten a través de característiques plenament arbòries, acompanyades d'un sotabosc arbustiu. El pinar jove es troba més proper a la línia de costa, fent frontera a la part interior amb el pinar adult, i a la franja més costanera amb les comunitats arbustives psammòfiles, dominades per *Juniperus oxycedrus* subs. *macrocarpa*.

La modificació de la massa forestal, amb la degradació d'algunes zones, i la fragmentació del sistema a través de l'obertura de nous camins i viaranyes, en són l'efecte visible del que ha suposat la pressió antròpica en aquest sistema. El resultat final es tradueix en un grau important de fragmentació, així com també amb la diferenciació de dos estrats arboris clarament diferenciables, suscitant la validesa de la hipòtesi sustentada en la pressió humana com a factor principal de la transformació d'aquest ambient.

Agraïments

El present article s'ha vist beneficiat pel projecte d'investigació CGL2010-18616 i per l'ajuda de la DG d'Universitats, Recerca i Transferència de Coneixements del Govern de les Illes Balears i a fons FEDER per a grups d'investigació competitius de la UIB BIOGEOMED. A més també s'ha beneficiat de la beca d'investigació FPI atorgada pel Govern de les Illes Balears.

Bibliografia

- Bagnold, R.A. 1954. *The physics of blown sand and deserts dunes*. London, Methuen.
- Barceló, G. 2004. Conflictivitat entorn de l'aprofitament comunal durant el segle XIX. L'enfrontament entre Muro i Santa Margalida. *I Jornades d'Estudis Locals a Muro*, Ajuntament de Muro: 269-287.

- Basterretxea, G., Orfila, A., Jordi, A., Fornós, J. i Tintoré, J. 2007. Evaluation of a small volume renourishment strategy on a narrow Mediterranean beach. *Geomorphology*, 88: 139-151.
- Bauer, B. i Sherman, J. 1999. Coastal dune dynamics: Problems and Prospects. In: Goudie, A., Livingstone, I., Stokes, S. (Edit). *Aeolian environments, sediments and landforms*. London, Wiley: 71-104.
- Carter, R.W., Hesp, P. i Nordstrom, K.F. 1990. Erosional landforms i coastal dunes. In: Nordstrom, K.F., Psuty, N.P. i Carter, R.W (Edits.). *Coastal dunes: form and processes*. London, John Wiley: 217-249.
- Cooper, W.S. 1958. Coastal sand dunes of Oregon and Washington. *Geological Society of America*, 72: 169.
- Delgado, I. i Loid, G. 2004. A simple low cost method for one person beach profiling. *Journal of Coastal Research*, 20: 1246-1252.
- Emery, K.O. 1961. A simple method of measuring beach profiles. *Limnology and Oceanography*, 6: 90-93.
- Gelabert, B., Servera, J. i Rodríguez-Perea, A. 2002. Características geomorfológicas del sistema dunar de la Bahía de Alcúdia (isla de Mallorca). *Geogaceta*, 32: 209-212.
- Glenn, M. 1979. Glossary. In: McKee, E.D.E. (Edit.). *A study of global sand seas*. Washington, US Geological Surveys Professional Paper. 1052: 399-407.
- Goy, J.L., Zazo, C. i Cuerda, J. 1997. Evolución de las áreas margino – litorales de la costa de Mallorca (I.Baleares) durante el último y presente interglacial: nivel del mar holoceno y clima. . *Boletín Geológico y Minero*, 108: 127-135.
- Hesp, P. 1996. Flow dynamics in trough blowout. *Journal of Boundary-Layer Meteorology*, 77: 305-330.
- Hesp, P. 2002. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 48: 245-268.
- Hilton, M. i Konlechner, T. 2011. Incipient Foredunes Developed from Marine-dispersed Rhizome of *Ammophila arenaria*. *Journal of Coastal Research*, SI64 (I): 288-292.
- Jaume, C. i Fornós, J.J. 1992. Composició i textura dels sediments de platja del litoral mallorquí. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 35: 51-61.
- Klijn, J. A. 1990. Dune forming factors in a geographical context. In: Baker, T.W., Jungerious, P.D. i Klijn, J.A. (Edit.). *Dunes of the European Coasts; Geomorphology, Hydrology, Soils*. Cremlingen. Catena Suppl.: 1-13.
- Mir-Gual, M. 2009. Modificaciones del perfil de playas en las Islas Baleares (Playas de Can Picafort y Es Comú de Muro). *Investigaciones Geográficas*, 50: 191-207.
- Mir-Gual, M. 2011. *Dinàmica, caracterització i gestió del sector litoral Can Picafort – es Comú de Muro (Badia d'Alcúdia, Mallorca)*. Memòria d'Investigació. UIB. Inèdita.
- Mir-Gual, M., Fraga, P., Pons, G.X., Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.A., Rodríguez-Perea, A. i Brunet, P.J. 2010. Alteracions antròpiques en els boscos de *Pinus halepensis* Mill. dels sistemes dunars de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 53: 133-152.
- Mir-Gual, M. i Pons, G.X. 2011. Coast sandy strip fragmentation of a protected zone in the N of Mallorca (Western Mediterranean). *Journal of Coastal Research*, SI64 (1): 1367-1371.
- Nonn, H. 1987. *Geografía de los litorales*. Madrid, Akal.
- OCDE (1995). *Gestión de zonas costeras. Políticas integradas*. Madrid, Ediciones Mundiprensa.
- Pethick, J. 2001. *An introduction to Coastal Geomorphology*. United States, Edward Arnold Publishers.
- Puleo, J.A., Pearre, N.S., He, L., Lauren, S., O'Neal, M., Pietro, L.S. i Fowler, M. 2008. A single-user subaerial beach profiler. *Journal of Coastal Research*, 24: 1080-1086.
- Roig-Munar, F. X. 2003. Identificación de variables útiles para la clasificación y gestión de playas y calas. El caso de la isla de Menorca (I.Baleares). *Boletín de la A.G.E.*, 35: 175-190.
- Roig-Munar, F. X. 2004. Análisi y consecuencias de la modificación artificial

- del perfil de playa-duna provocado por el efecto mecánico de su limpieza. *Investigaciones Geográficas*, 33: 87-103.
- Roig-Munar, F.X., Fraga, P., Martín-Prieto, J.A., Pons, G.X. i Rodríguez Perea, A. 2009. Fixació i estabilització de sistemes dunars a les Illes Balears per processos de forestació: el cas de Menorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 52: 129-140.
- Servera, J. 1997. Els sistemes dunars litorals de les Illes Balears. Departament de Ciències de la Terra. Palma de Mallorca, Universitat de les Illes Balears. Tesis Doctoral: 904.
- Servera, J. 2002. Eurosion Case Study. Can Picafort, Isle of Mallorca (Spain). In: <http://www.eurosion.org/shoreline/47canpicafort.html>
- Servera, J. 2004. *Geomorfologia del Litoral de les Illes Balears*. Palma de Mallorca, Edicions Documenta Balear.
- Servera, J., Gelabert, B. i Rodríguez-Perea, A. 2009. Development and setting of the Alcudia Bay beach-dune system (Mallorca, Spain). *Geomorphology*, 110: 172-181.