

## ANÁLISIS Y CONSECUENCIAS DE LA MODIFICACIÓN ARTIFICIAL DEL PERFIL PLAYA-DUNA PROVOCADO POR EL EFECTO MECÁNICO DE SU LIMPIEZA<sup>1</sup>

Francesc Xavier Roig i Munar

Dtor. Técnico de Gestión Litoral. Área de Medio Ambiente  
Consell Insular de Menorca (CIME)

### RESUMEN

Los métodos tradicionales de limpieza de playas han contribuido considerablemente a la desestructuración de los sistemas playa-duna. Este trabajo presenta los efectos geomorfológicos resultado de diferentes limpiezas mecanizadas sobre una playa. En Menorca se están aplicando criterios geomorfológicos y ambientales en gestión litoral, con el objetivo de reducir el impacto que la limpieza mecánica genera. El resultado obtenido ha sido la recuperación de vegetación de playa, la preservación de foredunes, la reducción de la modificación del perfil de playa y la reducción de los balances sedimentarios negativos.

*Palabras clave:* Limpieza playas, modificación perfil, erosión, Menorca, criterios geomorfológicos.

### ABSTRACT

In Balearic Islands, traditional methods for cleaning beaches have affected the beach-dune systems to a worrying extent. In Menorca, in order to mitigate the impact related with cleaning processes, some geomorphological and environmental criteria have recently been adopted. The first results include the recovering of beach vegetation, unaltered foredunes and a less altered beach profile, as well as a decrease in negative sediment budget.

*Key words:* beach cleaning, modification profile, Menorca, geomorphological criteria, impact mitigation.

---

1 Una primera versión de este trabajo fue presentada en la II Reunión Nacional de Geomorfología Litoral celebrada los días 19 al 22 de junio de 2003 en la Universidad de Xeografía de Santiago de Compostela, Galicia.

## Introducción

Hablar de litoral en Baleares es hablar de productos y servicios de un destino turístico de sol y playa, en el que las calas y los sistemas playa-duna constituyen el principal activo medioambiental sobre el que se basa, y en el que gravita, la economía de la isla. Estos espacios litorales pertenecen a sistemas naturales frágiles y dinámicos sobre los que intervienen gran número de factores (Martín y Rodríguez-Perea, 1998), de diferente naturaleza y magnitud, y su preservación está directamente relacionada con la posibilidad de adaptación natural a cambios dinámicos provocados por agentes de carácter natural (Pye, 1982), y/o de carácter antrópico.

A partir de la década de los 70 hasta la actualidad, la gestión en playas y calas ha estado marcada por la preocupación de cumplir con las normas básicas de higiene y por la instalación de ciertos servicios destinados al ocio y recreación de usuarios, así como por la obtención de banderas azules (Breton y Esteban, 1995), y otras figuras de gestión recientemente adaptadas a ambientes litorales (EMAS e ISO, entre otras), no concibiendo estos espacios como elementos naturales, frágiles y dinámicos. Las playas y calas fueron y son entendidas como un anexo más a los espacios urbanos y turísticos, obviando sus características ambientales, las funciones de reserva sedimentológica de las morfologías dunares asociadas (Martín y Rodríguez-Perea, 1998), y el hecho de que constituyen el hábitat de numerosas especies botánicas adaptadas a estos ambientes (Schmitt, 1994).

Para el cumplimiento de las normas higiénicas se optó, entre otras, por la aplicación de métodos de limpieza mecanizada en los sistemas litorales. Estas limpiezas realizadas mediante la incorporación de máquinas denominadas de trillado, cribado, arado o peinado resultan, aún hoy, una práctica común en muchos espacios litorales con uso turístico. Estas actuaciones permiten eliminar basuras visibles mezcladas con la arena, lo que puede reducir la carga de materia orgánica, especialmente en el borde de la playa, y por tanto limitar el posterior desarrollo de microorganismos cuya presencia supondría un conflicto de intereses económicos y sanitarios respecto al control de playas (Philipp, 1992, Llewellyn y Shackley, 1996). Pero mientras que en ocasiones una acumulación de residuos en playas puede suponer un impacto higiénico y visual sobre el sistema natural, la retirada indiscriminada y poco selectiva de los mismos puede producir un impacto mayor sobre el medio litoral que el que constituían los residuos inicialmente.

El hecho de hacer funcionales los espacios litorales para satisfacer la frecuentación masiva ha traído consigo serios problemas de conservación y estabilidad de los sistemas litorales (Roig 2003). Problemas como: alteración y eliminación de neomorfologías de playa-duna y su vegetación asociada, destrucción de procesos de formación de dunas, alteración y desestabilización de perfiles naturales de playa e incremento del transporte eólico, pérdidas de diversidad biológica, pérdidas de superficies y volúmenes de playa, así como de sus morfologías asociadas. Estas políticas de gestión han tenido unas repercusiones negativas a escala mundial (Nordstrom, 1994).

## Consecuencias ambientales de los sistemas tradicionales de limpieza mecánica de playas

Durante las últimas décadas los ecosistemas litorales han sufrido fuertes procesos erosivos de diferente índole, que en muchas ocasiones han conducido a su destrucción (Carter, 1988). Uno de estos factores han sido las tradicionales limpiezas realizadas a lo largo del litoral, centradas únicamente en el «lavado y alisamiento extensivo» de toda la superficie de playa, sin tener presentes las características ambientales, geomorfológicas y/

o las zonaciones de uso antrópico, prácticas éstas que han sido una de las principales causas de degradación de los sistemas dunares de Baleares, y en este caso de la isla de Menorca (Roig, 2002).

Estas estrategias de eliminación de basuras en las playas han conllevado, con los años, una clara mejora en la calidad microbiológica al incrementar los niveles de higiene y limpieza (Fernandez y Ferrer, 1982), pero por otra parte también se han relacionado con el desencadenamiento de importantes desequilibrios ambientales a escala local.

A microescala las limpiezas mecanizadas han dado lugar a una considerable alteración y desaparición de fauna intersticial, cuya principal fuente de alimentación es la materia orgánica aportada por el mar, y la cual es retirada mediante maquinaria (Pretus, 1989). Por otro lado, con la limpieza mecanizada, al mismo tiempo que se retiran basuras, también se retiran restos de algas y otros materiales orgánicos que son de vital importancia para las comunidades vegetales dunares (Ranwell, 1972), pues aportan el abono natural que proporciona los nutrientes necesarios para el desarrollo de las comunidades vegetales pioneras de playa y morfologías *foredune* (Gil, 1998).

A nivel botánico estas actuaciones dan lugar al deterioro de la vegetación de playa (Carter, 1980), desplazando especies propias de playa y alterando la secuencia natural de comunidades vegetales. En este sentido desaparecen taxones sensibles, y se propicia la inmigración de taxones nitrófilos externos y más resistentes (Schmitt, 1994), favoreciendo la alteración de las secuencias botánicas naturales. La retirada de estos nuevos plantones afecta directamente al desarrollo de las dunas embrionarias o primarias, fundamentales en el crecimiento de nuevas morfologías, en la estabilización natural del sedimento, y en el mantenimiento de la biodiversidad en la zona más dinámica.



FIGURA 1. Actuación mecánica en la playa de Sto. Tomás, Es Migjorn Gran, Menorca (1999).  
Fuente: Área de Medio Ambiente del CIME.

Geomorfológicamente se da una compactación del suelo (Bird, 1996) y la modificación del perfil natural de la playa (Figura 1), descompensando los balances sedimentarios entre playa-duna, inducidos por un cambio en el índice de rugosidad natural (Brown y McLachlan, 1990). Estas modificaciones de rugosidad y perfil suponen un incremento en la velocidad del viento sobre la superficie de playa expuesta y un aumento del transporte sedimentario, por eliminación de geomorfologías efímeras de playa, *ripples* y *shadow tongues*, incrementando el ángulo de incidencia entre el viento y la superficie (Howard, 1977), y desestabilizando los procesos naturales existentes en el propio sistema (Bagnold, 1956). De este modo se impide la formación embrionaria de morfologías, hecho que impide el mantenimiento, la estabilidad y el equilibrio del sistema en su conjunto (Rodríguez-Perea, *et al.* 2000).

La limpieza en la totalidad del sistema subaéreo es, aún hoy, y a pesar de lo expuesto, la práctica más habitual a lo largo de buena parte del litoral. En algunos sistemas se realizan además, actuaciones de aireado mediante roturación y arado de playa, a profundidades medias de 45 cm. Así mismo, tampoco se tienen en cuenta las condiciones ambientales en el momento de actuación, llevándose a cabo actuaciones de limpieza preestablecidas *a priori* e independientes de su conveniencia o inconveniencia dinámica (Juaneda y Roig, 2001). Se realizan las actuaciones de limpieza desde la zona de *swash*, donde los índices de humedad del sustrato son más elevados, y por ende, el grado de cohesión entre sedimento es mayor, aumentando de este modo la posibilidad de ser retirado y retenido por la máquina cribadora. A este hecho hemos de añadir la compactación de la primera



FIGURA 2. Actuación mecánica en el talud de *foredune*.

Fuente: Catálogo publicitario de maquinaria de limpieza de playas de la empresa RAM.

morfología de berma emergida o zona de *swash*, hecho que favorece los procesos de entrada del oleaje sobre la playa por el efecto desestructurante de su compactación, incrementando en mayor o menor medida los procesos erosivos. Además, las actuaciones en las zonas de pie o talud de la cara *stoss* de *foredune* dan lugar a una desestructuración de la morfología debido a su descalzamiento y a la consiguiente eliminación vegetal; la alteración de esta morfología da lugar a una pérdida progresiva de toda la estructura por desmantelamiento de taludes, y a un aumento del sedimento suelto sobre la playa (Figura 2).

Estas limpiezas reducen drásticamente la zona de tránsito entre playa-duna e incrementan progresivamente la verticalidad de los taludes entre la zona de contacto de playa y *foredune* dificultando e impidiendo el buen funcionamiento de la dinámica natural de éstas (Rodríguez-Perea *et al.* 2000). Esta verticalidad, en ocasiones con ángulos superiores a los 90° en relación al perfil resultante de playa, deja al descubierto la morfología, por efecto de una cicatriz erosiva, ante la acción directa del viento, que genera procesos erosivos por descalzamiento de material no consolidado y caída por gravedad del mismo, creándose pequeños conos de depósito en su base. El incremento entre el punto de separación *playa-foredune*, aumenta el número de *Reynolds* por efectos derivados del cambio topográfico, debidos a la eliminación de rugosidades de la playa (Greeley y Iversen, 1987), por tanto la superficie se encuentra más expuesta a la dinámica eólica.

En el caso de las islas Baleares, las particularidades sedimentológicas del litoral hacen que estas actuaciones mecánicas puedan ser mucho más nocivas que en otros ambientes costeros, debido a que la composición sedimentológica de las playas es eminentemente bioclástica (Jaume y Fornós, 1992), presentando, en el caso de Menorca, más del 80 % de bioclastos, con porcentajes de  $\text{CaCO}_3$  en torno al 75 %, y una elevada presencia de arenas medianas y finas (Gómez-Pujol *et al.* 2001).

Este tipo de composición, juntamente con el grado de humedad, da como resultado la creación de costras de cimentación por coalescencia entre partículas arenosas (Leeder, 1982). Se da una atracción superficial interparticular entre el sedimento, que da lugar a la cohesión. El resultado obtenido es una capa cohesiva que puede erosionarse de dos formas diferentes: una por debajo el valor crítico del sedimento, y otra por el impacto directo que cause la erosión en masa de un corte a más profundidad que el de la capa cohesionada, dando lugar a una desestabilización de flóculos sedimentarios cohesionados, o partículas suspendidas instantáneamente. (Richard, 1985).

Estas particularidades no favorecen la puesta en movimiento del sedimento, ya que la suma de la humedad en la playa y la composición carbonatada es un factor ambiental que produce una disminución en la intensidad del transporte eólico al facilitar la cohesión sedimentaria, y por tanto, incrementar la velocidad umbral de removilización (Belly, 1964). Autores como Sarre (1988) afirman que en sustratos con contenidos superiores al 14% de humedad ya no se dan variaciones en las tasas de transporte, por tanto en días de fuerte flujo eólico con importantes porcentajes de humedad se pueden dar transportes reducidos debido a esta característica. La costra superficial que se crea es de escaso espesor (mm), pero hace las funciones de protección del sistema en su conjunto al cohesionar el sedimento suelto que se encuentra en la playa seca situada por debajo de la costra exterior. Una vez desestructurada esta costra, los sedimentos son más vulnerables a ser transportados eólicamente, aumentando la deflacción notablemente. Las actuaciones de limpieza mecánica facilitan la rotura de tal encostramiento, y exhuman el material suelto susceptible de ser desplazado más allá de la propia playa, incrementando y agravando la descompensación de los balances de equilibrio natural entre playa-duna. Por tanto, estas características —humedad y  $\text{CaCO}_3$ — incrementan de forma natural la estabilidad en el conjunto de los sistemas dunares de Baleares.

Generalmente, en el caso de Baleares, estas tareas de limpieza y anivelamiento son realizadas sistemáticamente con maquinaria agrícola de tracción mecánica, con ruedas de grandes dimensiones y alta presión, superiores a los 5,5 Kg/cm<sup>2</sup> con dibujo de pastillas, y criba remolcada. El resultado es una imagen de limpieza aparentemente efectiva de playas y calas, que quedan visualmente limpias y estéticamente ordenadas, sin tener presentes sus consecuencias ambientales a corto, medio y largo plazo.

### Objetivos y metodología

El objetivo del presente trabajo se ha centrado en el análisis de la variabilidad de diferentes perfiles de playa, anteriores y posteriores a actuaciones de limpieza mecanizada. Se han utilizado cuatro máquinas diferentes de limpieza del Servicio de Gestión Litoral del CIME.

Los perfiles tienen por objeto poder establecer el desmonte y terraplén creados tras cada actuación, en forma de volúmenes perdidos y volúmenes trasladados, así como la alteración artificial del perfil, y de este modo aportar un dato numérico de este tipo de gestión realizada sobre ambientes litorales como soporte a las teorías explicadas anteriormente.

Los perfiles se han realizado en el sistema playa-duna de Son Bou (Menorca). Se trata de un sistema con una estructura geomorfológica bien definida, con una densa cobertura vegetal psamófila y alturas medias de cresta en *foredune* que oscilan entre 3-4 m y una amplitud variable de playa aérea entorno a los 30 m en las áreas de actuación. Para la realización de los perfiles se han escogido cuatro áreas bien conservadas del sistema, con una longitud aproximada de 250 m y una separación entre perfiles de 75 m. Las áreas escogidas no presentaban morfologías *blowout*, ni taludes erosivos de pie de duna, y su porcentaje de cobertura vegetal era superior al 60% en toda el área, pudiendo ser definidas éstas, según Hesp (1988), como áreas de morfologías *foredune* de segundo y tercer estadio.

Sobre cada una de estas áreas se han realizado diferentes perfiles iniciales y posteriores a la actuación de limpieza mecánica. El levantamiento de perfiles fue realizado a finales del mes de mayo por dos razones: 1) Se trata del inicio de temporada estival y todavía no se había realizado ninguna actuación de limpieza mecanizada, y 2) la playa no presenta una alteración importante en su perfil por causas de frecuentación antrópica (Fabbri, 1989).

Los perfiles se realizaron en condiciones de actuación favorables, con una capa superficial de material seco importante (de grosor superior a los 7 cm.), sin una humedad relativa elevada, y con pronósticos de viento y temporal nulo a corto plazo (Roig, 2002).

Se ha optado por la realización de perfiles debido a que éstos suponen una herramienta útil para los análisis de las características geomorfológicas y del comportamiento en la dinámica sedimentaria, en este caso a pequeña escala y en un período corto de tiempo. Los perfiles se han hecho siguiendo la metodología de un punto fijo asignado por área y perfil, situado sobre la cresta de *foredune*, hasta el límite de la zona *swash*. De cada perfil se ha obtenido información altimétrica generada a partir de cada metro y medio de longitud de playa, y mediante el perfil resultante se ha podido determinar el área y los límites de computación volumétrica observados entre curvas y la variabilidad definida como «*sweep zone*» (KING, 1972).

### Descripción de la maquinaria de limpieza de playas utilizada en la realización de perfiles

Se describen las características mecánicas de cada una de las máquinas de limpieza utilizadas en el presente trabajo:

1. Tractor agrícola con un peso de 6.200 Kg. Se trata de una máquina de tracción mecánica de 135 Cv., y ruedas con dibujo de pastillas de un diámetro de 1,60 y un

ancho de 40 cm, a presiones superiores a los 5,5 Kg/cm<sup>2</sup>. La máquina arrastra una cribadora de playas, con un peso en vacío de 1.800 Kg, y un ancho de trabajo 1.500 mm, y capacidad de recogida de 100 l, con malla de 7 mm de luz. En este caso la tracción mecánica no permite la regulación de la velocidad de trabajo independiente entre tractora y cribadora.

2. Máquina hidráulica MERLO con un peso de 5.560 Kg. Se trata de una máquina de tracción hidráulica independiente entre la máquina tractora y la máquina cribadora, con una potencia de 60 Cv, ruedas con presión de 0,6 kg/cm<sup>2</sup> y neumáticos de baja presión sin dibujo, con un diámetro de rueda 1,20 m y un ancho de 75 cm., arrastra una cribadora CANICAS modelo T.170-H de cinta vibradora y batidora independientes a la transmisión tractora (peso en vacío de 1.980 Kg), y una malla de 10 mm de luz, tiene una anchura de trabajo de 1.700 mm, dispone de barra de goma niveladora de sustrato y una capacidad de recogida de 1.380 l. Estas características hidráulicas permiten la regulación de la velocidad de cribado y trabajo, independiente de la velocidad de la máquina tractora.
3. Máquina PAOLO DI NICOLA, modelo integral mixto de máquina-cribado Europa II, con un peso de 2.000 Kg. y motor de 38 Cv. Tiene un ancho de trabajo de 1.850 mm, y un volumen de recogida 210 l y ruedas de baja presión 0,35 kg/cm<sup>2</sup>, con diámetro de 1 m y un ancho de rueda de 75 cm. sin perfil, dispone de una malla de 12 mm de luz, y dispone de barra metálica niveladora de sustrato.
4. Máquina KÄSSBOHRER modelo Beach Tech 3000, en este caso se trata de una máquina manual, con un peso de 280 Kg. Tiene sistema de cribado por vibración y una criba de 8 mm de luz, con un volumen de recogida de 60 l y profundidad de funcionamiento 0-120 mm, tracción manual, 5,5 Cv, y un ancho de trabajo 500 mm y barra niveladora de sustrato.

## Análisis de perfiles resultantes

Se analizan por separado los perfiles (inicial y posterior) obtenidos en las áreas analizadas. En cada una de ellas se ha actuado con una de las cuatro máquinas. Los perfiles han sido realizados entre el área de *swash* y el pie de duna, siguiendo la metodología de trabajo más común en estos ambientes litorales.

Se analiza, para cada perfil, la variación entre el perfil inicial y resultante, siendo el desmonte (**D**), la pérdida de volumen tras el paso de máquina, y el terraplén (**T**), el incremento de volumen. En cada área de «limpieza» se realiza una actuación que cubre una anchura de playa aproximada de 25 m. Con ello se obtienen los volúmenes de pérdida o incremento de cota tras cada una de las pasadas de máquina. De los resultado obtenemos que si  $T > D$  la actuación de la máquina supone un incremento del volumen sedimentario en la zona afectada, es decir un cambio en su rugosidad o un desplazamiento de material hacia la zona intervenida. Sin embargo, si  $D > T$  tras el paso de la máquina se da una pérdida de volumen de playa, es decir una compactación del sustrato.

### 1. Resultados tractor agrícola

Se realizan tres perfiles de playa-duna en un área con altura media de 4 m en la cresta de *foredune*, y una anchura de playa que oscila entre 20 y 25 m, con pendientes suaves. Los perfiles presentan, como característica común una buena secuencia geomorfológica en la parte aérea de la playa, apreciando primeras morfologías no consolidadas por vegetación propia de playa y un talud estable de *foredune*. (Figura 3).

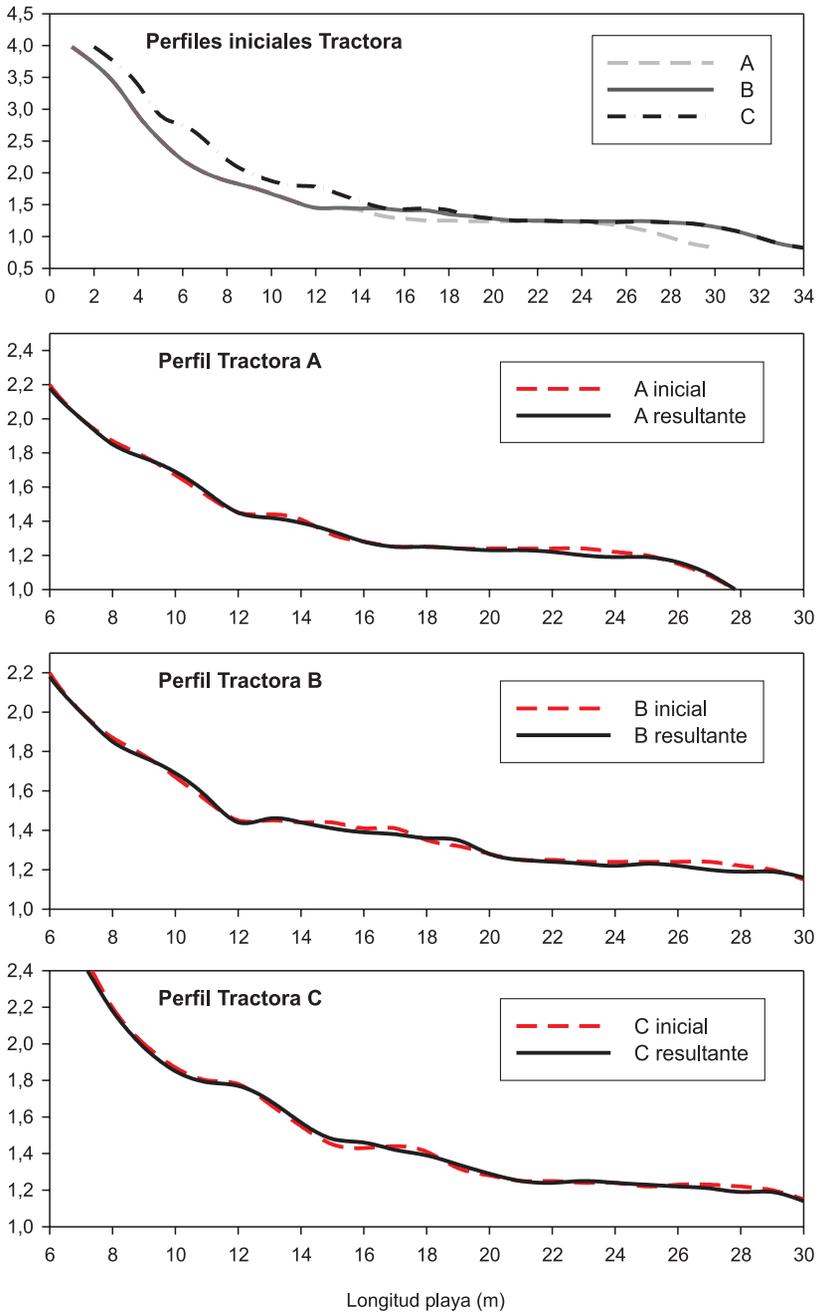


FIGURA 3. Perfiles iniciales y resultantes de la máquina tractora agrícola. Las siglas A, B y C corresponden a las tres réplicas realizadas.

Perfil A, el resultado es D 0,25 m<sup>3</sup> y T 0,07 m<sup>3</sup>, obteniendo un balance negativo de 0,18 m<sup>3</sup>. En el perfil se aprecia un cambio o traslado de morfología de pie de *foredune*, debido al desmonte realizado, así como una caída o desplome por gravedad de material de la morfología, y una importante modificación por compactación en la zona inicial de playa posterior al *swash*.

Perfil B, el resultado es D 0,53 m<sup>3</sup> y T 0,09 m<sup>3</sup>, obteniendo un balance negativo de 0,44 m<sup>3</sup>. En el perfil se observa un cambio por alisamiento del sustrato desde el pie de *foredune* hasta media playa, así como una compactación en la zona cercana al *swash*. Apreciamos en la playa un traslado de material de los 16 hacia los 18 m, por efecto de las ruedas y la barra niveladora, dando lugar a una acumulación similar a la que podría crear una berma.

Perfil C, el resultado es D 0,38 m<sup>3</sup> y T 0,20 m<sup>3</sup>, obteniendo un balance negativo de 0,18 m<sup>3</sup>. Se observa una nivelación en el pie de *foredune* eliminando la morfología y aumentando el grado en la pendiente de playa, apreciamos una eliminación de pequeñas morfologías de playa aérea, situadas ente los 16 y 20 metros, y una compactación en su zona de *swash*.

## 2. Máquina MERLO

Se realizan tres perfiles de playa-duna con una altura media en toda el área de 3,5 m en la cresta de *foredune*, y una anchura de playa que oscila entre 15 y 20 m, con pendientes suaves. Los perfiles presentan, como característica común, una buena secuencia geomorfológica en la parte de playa, apreciando primeras neomorfologías no consolidadas por vegetación propia de playa y un talud estable de *foredune*, excepto en el perfil A, donde se observa un pequeño talud erosivo. Estos perfiles presentan inclinaciones muy suaves (Figura 4).

Perfil A, el resultado es D 0,39 m<sup>3</sup> y T 0,45 m<sup>3</sup>, obteniendo un balance positivo de 0,06 m<sup>3</sup>. En el perfil se observa una desestructuración en todo el conjunto de la playa, con una desestabilización del pie de *foredune*, y una labor de nivelación en el resto de playa. Destaca la acumulación observada a los 20 m de playa, fruto de la actuación mecánica y el paso de la barra niveladora que en muchas ocasiones traslada el material alisado a otros sectores de esta, dando como resultado una imagen propia de actuación agrícola (Figura 1). Así mismo se observa un desmonte por completo de la berma aérea o zona de *swash*.

Perfil B, el resultado es D 0,48 m<sup>3</sup> y T 0,04 m<sup>3</sup>, obteniendo un balance negativo de 0,44 m<sup>3</sup>. En el perfil se observa una desestructuración en todo el conjunto de la playa, en donde se aprecia una erosión del pie de *foredune* de forma regular. Se da un desmonte en el conjunto de la playa y la creación de morfologías aparentes de acumulación, resultado de un traslado de material de un sector a otro. Se advierte que el perfil resultante desfigura los suaves pendientes de playa a duna incrementando el grado de rugosidad de playa, así como el desmonte por compactación de la zona de *swash*.

Perfil C, el resultado es D 0,62 m<sup>3</sup> y T 0,02 m<sup>3</sup>, obteniendo un balance negativo de 0,60 m<sup>3</sup>. Se da una desestructuración en todo el conjunto de la playa aérea, apreciando una zona de compactación en la zona de *swash*, una zona de alisamiento de playa, situada esta entre los 18 y 25 m, y un desmonte y traslado de material en la zona comprendida ente los 10 y 18 m, zona de pie de *foredune*. Este último desmonte se realiza inicialmente de forma regular hasta la primera acumulación de traslado de material situado a los 17-18 m.

## 3. PAOLO DI NICOLA

Se realizan dos perfiles en una aérea de *foredunes* homogénea de altura media de 3,5 m de cresta. Se trata de dos perfiles de características geomorfológicas similares, con un suave pendiente sin neomorfologías aparentes en playa ni vegetación propia de esta (Figura 5).

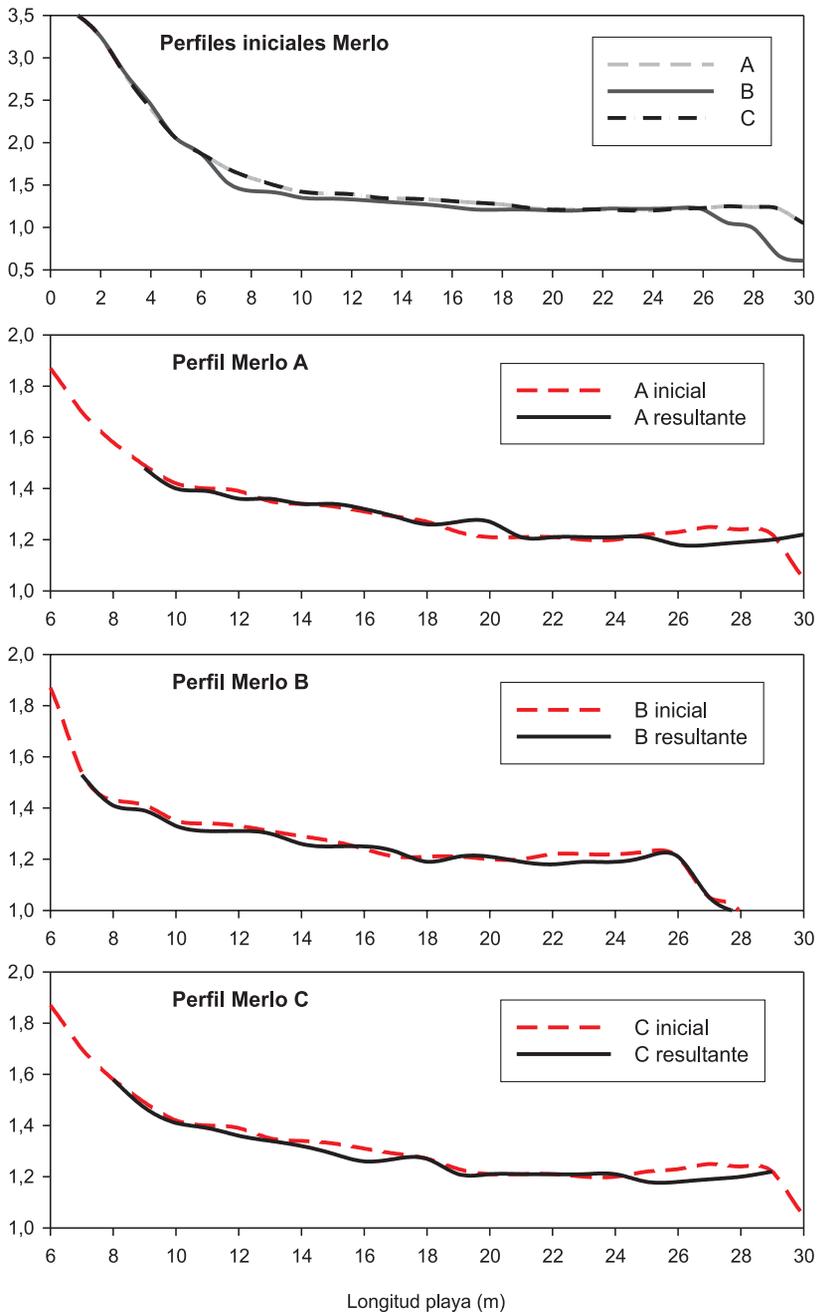


FIGURA 4. Perfiles iniciales y resultantes de la máquina MERLO. Las siglas A, B y C corresponden a las tres réplicas realizadas.

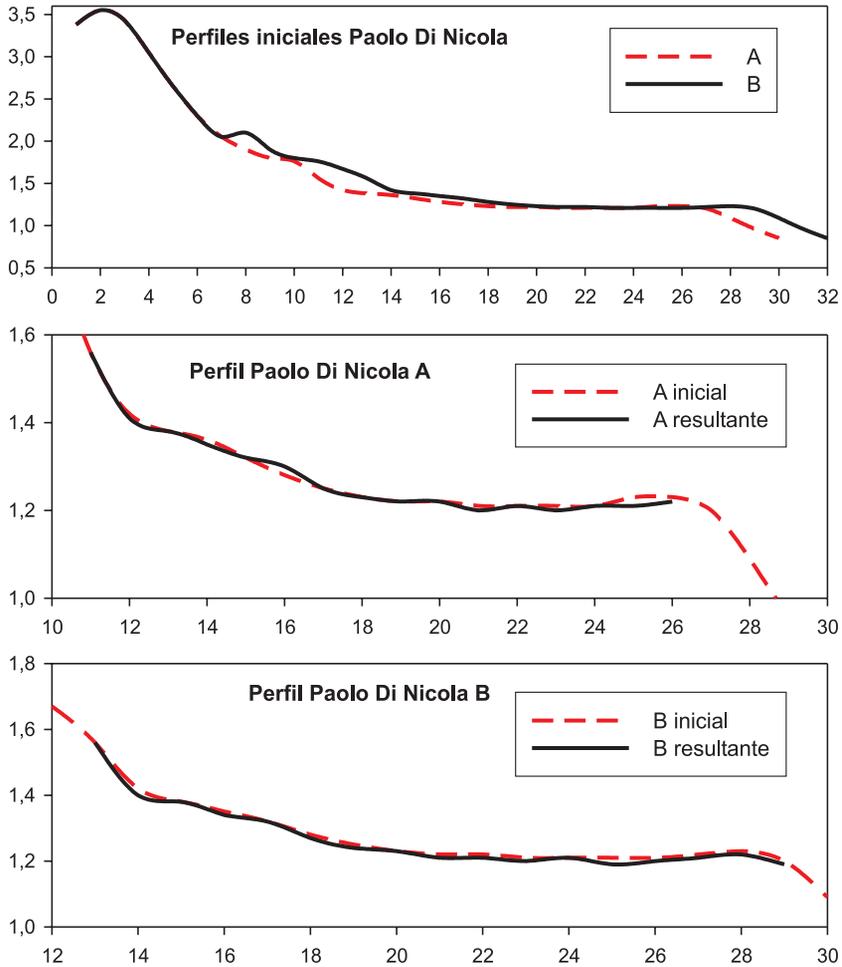


FIGURA 5. Perfiles iniciales y resultantes de la máquina PAOLO DI NICOLA. Las siglas A y B corresponden a las dos réplicas realizadas.

Perfil A, el resultado es  $D 0,11 \text{ m}^3$  y  $T 0,03 \text{ m}^3$ , obteniendo un balance equivalente a D. Hay una desestructuración en la zona posterior de *swash* (*backbeach*) dando lugar a una compactación del perfil más hacia el interior del sistema observamos dos canales de «arado», quedando el perfil modificado en la base de *foredune*.

Perfil B, el resultado es  $D 0,20 \text{ m}^3$  y  $T 0,00 \text{ m}^3$ , obteniendo un balance negativo de  $0,20 \text{ m}^2$ . Se aprecia el perfil resultante fruto de una compactación de toda la extensión del perfil actuado. Observamos diferentes puntos de contacto entre perfiles fruto del traslado de material por el paso de la cribadora y niveladora. Se trata de un perfil mínimamente modificado a pesar del resultado obtenido, dando un resultado similar al inicial por efectos de compactación.

#### 4. KÄSSBOHRER

Se realizan dos perfiles en una área de *foredunes* homogénea de altura media de 3,3 m de cresta, y una amplitud variable entre los 10 y 18 m de playa. Se trata de dos perfiles de características geomorfológicas similares, con un suave pendiente sin neomorfologías aparentes en playa aérea ni vegetación propia de esta (Figura 6).

Perfil A, el resultado es D 0,23 m<sup>3</sup> y T 0,00 m<sup>3</sup>, obteniendo un balance equivalente a D. La modificación resultante no supone un incremento en la rugosidad elevada del sistema, si bien es cierto que observamos un mínimo traslado sedimentario hacia la zona central de la playa, y una compactación generalizada en el conjunto de la superficie de playa y su zona de *swash*.

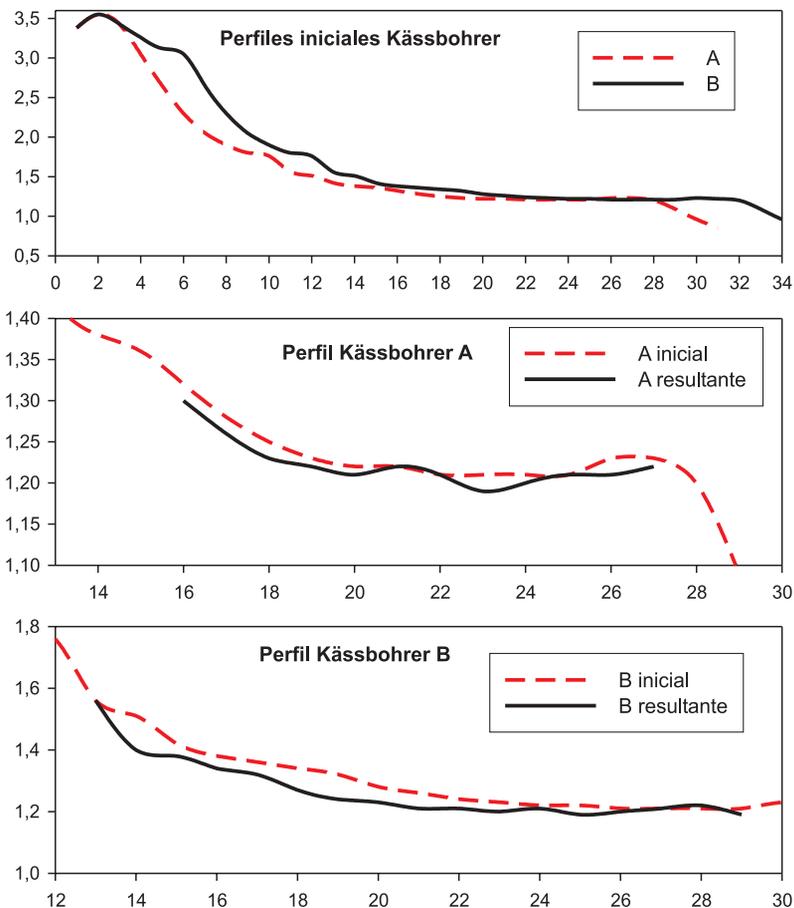


FIGURA 6. Perfiles iniciales y resultantes de la máquina KASSBOHRER. Las siglas A y B corresponden a las dos réplicas realizadas.

Perfil B, el resultado es D de 0,17 m<sup>3</sup> y T de 0,00 m<sup>3</sup>, obteniendo un balance negativo del -0,17 m<sup>3</sup>. Apreciamos un perfil de compactación constante prácticamente en todo su recorrido con unas áreas de desmonte homogéneas al perfil inicial.

### Análisis de resultados

Como hemos podido comprobar en los gráficos resultantes, la utilización de maquinaria mecánica de limpieza de playas da como resultado un desmonte y traslado de material, así como una compactación del sustrato. Se obtiene una desestructuración de las morfologías de playa e impide el buen crecimiento y la colonización de especies vegetales sobre éstas. Asimismo, se da una desestabilización de las bases de las morfologías *foredune*, agravando procesos de formación y estabilización del cordón dunar delantero. Los resultados obtenidos demuestran que las actuaciones con máquinas de limpieza mecánica favorecen la erosión puntual en cada una de las actuaciones, las cuales se verán agravadas con el paso del tiempo por diversos procesos que afectan directa o indirectamente al sistema, o bien por el seguimiento de las actuaciones.

Los resultados obtenidos para cada una de las máquinas dan un desmonte del perfil natural de playa, con una pérdida de volumen o traslado de éste hacia otros sectores del mismo perfil. Se obtiene un desmonte y desequilibrio medio de 0,329 m<sup>3</sup> de superficie arenosa, por cada 75 m<sup>3</sup> de área, la cual pasa a ser susceptible de ser transportada posteriormente por dinámica eólica a lo largo del sistema playa-duna. En el caso de sistemas degradados posiblemente estos sedimentos sean transportados más allá del propio sistema arenoso.

Una vez valorados los resultados gráficos y numéricos de cada una de las máquinas utilizadas creemos oportuna la planificación de la limpieza mecánica, en caso que ésta sea necesaria, y de sus zonas de actuación. En este sentido proponemos la aplicación de medidas de limpieza basadas en una zonificación morfológica y de máximo uso antrópico de playa aérea, ya que las actuaciones en las zonas de *foredune* y *swash* favorecen, por una parte, los procesos de desestructuración de los taludes de las primeras morfologías dunares (ver perfiles resultantes), y por otra, la retirada masiva de sedimento con altos niveles de cohesión.

### Aplicación de medidas de gestión y resultados preliminares

Con el fin de paliar, en cierta medida, los efectos negativos de las actuaciones mecánicas sobre las playas, en el caso de Menorca se han aplicado criterios morfológicos en las actuaciones de limpieza mecanizada con el objetivo de recuperar en la medida de lo posible las morfologías dunares y la vegetación propia de playa.

En las pasadas décadas hasta el año 1999 se realizaban actuaciones de limpieza mecánica en 33 playas, indistintamente de la naturaleza de éstas (urbanas o naturales). Las actuaciones comenzaban en el mes de abril hasta mediados de octubre, con una frecuencia de una actuación semanal por playa, basada en calendarios establecidos *a priori*, y sin una previa comprobación de la necesidad real de estas actuaciones. Las labores consistían básicamente en el «lavado y alisado» de la superficie de playa, comprendida entre la zona de *swash* y la *foredune*.

En el año 2000, con la puesta en marcha del Plan de Gestión Litoral, se redujeron considerablemente las unidades de actuación a tan sólo 8 playas, todas ellas catalogadas urbanas (Juaneda y Roig, 2001). Se establecieron calendarios de inicio y finalización de estas actuaciones, siendo éstos a partir del mes de mayo hasta el mes de septiembre, con

unas frecuencias entre actuaciones superiores a los 25 días. Para la realización de limpieza se marcaron ciertos criterios a seguir como;

1. La capa superior del sustrato ha de estar seca en los primeros 7 cm de potencia, para de este modo evitar el contacto de la cribadora y las capas más cohesionadas de la playa, y por tanto reducir en la medida de lo posible la retirada de material sedimentario y la compactación.
2. El grado de humedad de la playa tiene que ser bajo, para evitar las roturas de costras calcáreas de los sistemas litorales y de este modo facilitar la exhumación de nuevo material sedimentario suelto susceptible a ser transportado por dinámica eólica.
3. En los siguientes días a la actuación (aproximadamente tres) no tiene que haber previsión meteorológica de temporales de viento, con el fin de evitar el transporte eólico del material suelto sobre la playa hacia otras partes del sistema.
4. Se realizaron zonificaciones de playas basadas en criterios morfológicos y de usos antrópicos. Las actuaciones sólo pueden realizarse en las zonas comprendidas entre la zona seca de *swash* y los primeros tres metros antes de los taludes de *foredune*, en el caso de sistemas playa-duna. En el caso de playas deterioradas y sin morfologías aparentes se establecieron áreas de playa susceptibles de ser recuperadas morfológicamente y biológicamente. Estas zonificaciones de playa limitaron el área del perfil modificado evitando la descompensación y modificación de todo el sistema, y dejando de este modo expuesta a la influencia eólica una zona concreta de la playa.

Estos criterios de zonificación de playa han dado como resultado en la isla de Menorca la recuperación morfológica y vegetal en algunos puntos del litoral, con neomorfologías asociadas a vegetación pionera, y por tanto una recuperación en volumen, así como la recuperación y restitución de forma natural de algunos cordones donde los taludes de *foredunes* estaban alterados por las gestiones de alisado de playa realizadas durante las últimas décadas.

Las medidas han favorecido una estabilización del sistema playa-duna, así como una reconstrucción vegetal y morfológica de escarpes erosivos que sufrían procesos de retroceso, recuperando en algunos casos la línea inicial del sistema mediante neoforras adosadas a las existentes y erosionadas. En algunos casos de playas urbanas, como Punta Prima, sin morfologías aparentes y con estadios de degradación importantes, la limitación de limpieza mecánica ha dado lugar a la recuperación de un estadio 5 hacia el estadio 4 según la clasificación de Hesp (1988), con volúmenes ganados y colonizados de 0,7 m<sup>3</sup>/año en un área no superior a los 70 m<sup>2</sup> pero que ejerce una importante labor de interferencia eólica y de retención de material que hasta 1999 era transportado y depositado en el área urbanizada.

Mediante esta técnica se han recuperado en algunos sistemas dunares las comunidades halonitrófilas (*Cakiletea-maritimae*), las comunidades gramíneas sobre dunas embrionarias (*Amophiletea-agropyron*) y las comunidades de borrones sobre dunas móviles (*Amophiletea-amophylon*), recuperando de este modo el esquema botánico natural del sistema, que a su vez se relaciona con el esquema de dinamismo evolutivo inicial a las actuaciones antópicas.

## Conclusiones

En el caso de Menorca, y por extensión a las Baleares, las características sedimentológicas de los sistemas litorales, con elevados porcentajes de carbonatos han dado

cierta estabilidad a los sistemas, ya que estas costras han actuado como sistemas cohesionantes continuos que reducen la desestructuración más acelerada de los procesos de erosión.

Los resultados obtenidos en Menorca con la aplicación de estos criterios de zonificación de playa, han sido la recuperación de morfologías de duna de playa y de vegetación de playa, y la estabilización de los taludes de *foredune*. Entendemos que la utilización reiterada de este tipo de actuaciones en sucesivos períodos estivales, y a lo largo de los años, será, por una parte, el factor limitante en la regeneración dunar y la colonización vegetal del mismo, que no comenzará hasta que cesen las causas de su desaparición y sus ecosistemas no sufran la presión mecánica indiscriminada ejercida sobre ellos, y por otra parte será una de las causas que contribuirán a la degradación del sistema en todo su conjunto.

A pesar de lo expuesto anteriormente, se sigue aún hoy en muchos espacios turísticos, la política de limpieza exhaustiva mecanizada de las superficies de playa en toda su extensión, así como la dotación de recursos y herramientas necesarias para este tipo de actuaciones por parte de algunas administraciones del Estado hacia los municipios costeros (Cursach, 2002). Es más, algunas figuras o galardones de gestión, como *Bandera Azul*, priman las gestiones de limpieza mecánica diaria en playas, dando lugar a una profunda artificialización del espacio (Fraguell, 1997), haciendo, en este sentido, de la playa un simple escenario o soporte físico. Estas actuaciones y acondicionamientos de playa son aún hoy entendidas como condición *sine quae non* para mantener unos ingresos turísticos importantes y continuados de un medio natural frágil y dinámico. Desde el punto de vista ambiental el concepto erróneo de mantenimiento, acondicionamiento y limpieza de playas representa una considerable agresión ecológica, ya que inhabilita al espacio su albergue natural de fauna, vegetación y morfología litoral y por ende el equilibrio natural entre el sistema playa-duna, favoreciendo de este modo que sobre este espacio alterado se agraven los procesos erosivos.

## **Agradecimientos**

Los resultados de este estudio se enmarcan dentro de los trabajos realizados por el Área de Medio Ambiente del CIME para la minimización de los efectos erosivos de las actuaciones de gestión litoral sobre un espacio con fuerte uso estacional.

A Josep Pañella y Nando Mascaró, de la empresa FCC, SA, adjudicataria del servicio de limpieza de playas de Menorca, por su paciencia a lo largo de las diferentes pasadas de máquinas.

A Azucena González y Xec Triay, del servicio de topografía del Área de Carreteras del Consell Insular por su ayuda en la realización de los perfiles de playa.

Al Dr. Antonio Rodríguez Perea y J. Ángel Martín Prieto, miembros del grupo de investigación BALIT, Dpto. de Ciencias de la Tierra de la Univ. I. Baleares, por su valiosa ayuda y colaboración en la discusión de los criterios de gestión litoral de la isla de Menorca.

## **Bibliografía**

- BAGNOLD, R.A. (1956): *Flow of cohesionless grains in fluids*. Philosophical Transactions Royal Soc. of London. Serie A, 249 pp.
- BELLY, P.Y. (1964): *Sand movement by wind*. US Arm. and Corp. of Engineers, Coastal Engineering Research Center. Tech. Mem nº 1, Washington, DC. 30 pp.
- BIRD, E. C. F. (1996): *Beach management*. Ed Wiley 218 pp.

- BRETON, F. y ESTEBAN, P. (1995): «The management and recuperation of beaches in Catalonia», en *Directions in European Coastal Management*. Eds: Healy, M.G. & Doody, J.P. pp. 511-516.
- BROWN, A.C. y MCLACHLAN (1990): *Ecology of sandy shores*. Elsevier, 328 pp.
- CARTER, R.W.G. (1980): «Human activities and geomorphic processes: The example of recreation pressure on the Notherm Ireland coast». *Z. Geomorph.* N. F. 34: 155-164.
- CARTER, R.W.G. (1988): *Coastal Environments*. Academia Press. London.
- CURSACH, B. (2002): «Playas impecables». *Revista Ambiental*, Ministerio de Medio Ambiente 16: 61-65, Noviembre.
- FABBRI, P. (1990): *Recreational Uses of Coastal Areas*. The GeoJournal Library. Kluwer. Academic Publishers, Dordrecht.
- FERNÁNDEZ, F. y FERRER, M.D. (1982): «Estudio microbiológico de la arena de las playas de Barcelona». *Gazeta Sanitaria*, 3: 13-17.
- FRAGUELL, R.M. (1997): «Playas de primera y de segunda. El litoral catalán objeto de evaluación». En *Dinámica litoral-Interior*, Vol. I: 97-104. Actas del XV Congreso AGE. Dpto. de Xeografía, Univ. Santiago Compostela.
- PHILIPP, R. (1992): *Environmental quality objectives and their relationship to health indicators*. *Biologist*, 39 (1): 34.
- GIL, LL. (1998): *Els sistemes dunars de Mallorca: biologia reproductiva de les comunitats vegetals característiques*. Dept. de Biol. Univ. de les I. Balears. Inédito.
- GÓMEZ-PUJOL, LL., BALAGUER, P., MATEU, J. y ROIG, F.X. (2001): Caracterització del sediment de platja del litoral menorquí. *III Jornades del Medi Ambient de les Illes Balears* pp. 85-87.
- GREELEY, R. and IVERSEN, J.D. (1987): *Wind as a geological process*. Cambridge Univ. Press. Australia.
- HESP, P.A. (1988): «Morphology, dynamics and integral stratification of some established foredunes in southeast Australia». In Hesp, P.A. et alt (Ed) *Eolian Sediments*. Amsterdam, Elsevier. 17-41.
- HOWARD, A. (1977): «Effect of slope on threshold on motion and its application to orientation of wind ripples». *Bull. Geol. Soc. Am.* 88, 853-856.
- JAUME, C. y FORNÓS, J.J. (1992): Composició i textura de platja del litoral mallorquí. *Bull. Soc. Hist. Nat. Bal.* 35: 93-110.
- JUANEDA, J. y ROIG, F.X. (2001): El pla de neteja integral de l'illa de Menorca com a eina de gestió ambiental. En *Geografía y Territorio. El papel del geógrafo a escala local*, en Blázquez, M. et alt. (Ed) Palma de Mallorca 2001. Pp. 43-48.
- KING, C.A. (1972): *Beaches and coasts*. London Arnold.
- LEEDER, M.R. (1982): *Sedimentology. Process and Product*. George Allen and Unwin Publishers. London.
- LLEWELLYN PJ, AND SHACKLEY, S.E. (1996): «The effect of mechanical beach-cleaning on invertebrate populations». *British Wildlife*, 7 (3): 147-155.
- MARTÍN, J.A. y RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1996): «Participación vegetal en la construcción de los sistemas dunares litorales de Mallorca». En *IV Reunión de Geomorfología*, Grandal d'Angade A. (Eds) Sociedad españolas de Geomorfología O Castro (A Coruña) pp. 785-798.
- NORDSTROM, K.F. (1994): «Beaches and dunes of human altered coasts». *Progress in Physical Geography*, 18, 4: 497-516.
- PRETUS, J.LL. (1989): «Contribució al coneixament de la fauna intersticial litoral. Presència de Místacòcàrides (Crustacea) a l'illa de Mallorca». *Bull. Inst. Catalana.Hist. Nat.* 60 (9): 113-119.
- PYE, K. (1982): «Morphological and desenvolpment of coastal dunes in a humid tropical environment, Cape Bedford and cape Flattery, North Queensland». *Geogr. Ann* 64-A: 213-227.
- RANWELL D.S. (1972): *Ecology of salt marshes and sand dunes*. Chapman & Hall.
- RICHARD, J.R. (1985): *Coastal Sedimentary Environments*. Springer-Verlag.
- RODRÍGUEZ-PEREA, A., SERVERA, J. y MARTÍN-PRIETO J.A. (2000). *Alternatives a la dependència de les platges de les Balears de la regeneració artificial: Informe METADONA*. Univ. I. Balears, Col. Pedagogia Ambiental nº 10.
- ROIG, F.X. (2002): «El Pla de neteja integral del litoral de Menorca. Aspectes geomórfics, ambientals i socials». *Bull. Geograf. Apl.*, vol. 3-4: 51-64.

- ROIG, F.X. (2003): «Identificación de variables útiles para la clasificación y gestión de calas y playas. El caso de la isla de Menorca (I. Balears)». *Boletín de la AGE*, vol. 35: 175-190.
- SARRE, R.D. (1988): «Evaluation of eolian sand transport equations using intertidal zone measurements, Saunton Sands», England. *Sedimentology* 35, 671-679.
- SCHMITT, T. (1994): «Degradació de la vegetació psamòfila litoral de Mallorca». *Bull. Soc. Hist. Nat. Balears*, 37: 151-174.