



CUANTIFICACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SEDIMENTO POR LA RETIRADA MECÁNICA DE BERMAS (*BANQUETTES*) DE *POSIDONIA OCEANICA* EN LAS PLAYAS DE LAS ISLAS BALEARES: CONSECUENCIAS GEOMORFOLÓGICAS

Quantification of sediment loss due to the mechanical removal of berms (banquettes) of Posidonia oceanica on the beaches of the Balearic Islands: geomorphological consequences

Francesc Xavier Roig-Munar¹, Antonio Rodríguez-Perea², José Ángel Martín-Prieto¹ y Bernadí Gelabert Ferrer³

¹ Investigador independiente, consultor ambiental, C/ Carritxaret 18, apt. 6, es Migjorn Gran, Menorca, 07749.
xiscoroig@gmail.com

² Dpto. de Geografía, Universitat de les Illes Balears, Carretera de Valldemossa, km 7,5, Palma de Mallorca

³ Dpto. de Biología, Universitat de les Illes Balears, Carretera de Valldemossa, km 7,5, Palma de Mallorca

Abstract: Part of the cleaning of beaches in the Balearic Islands has been focused on the mechanical removal of *Posidonia oceanica* that remains deposited on the emerged beach, forming banquettes or vegetal berms. Their mechanical removal over the last decades have led to the loss of beach surfaces and volumes, as well as the alteration of the beach-dune system. The study analyses the volumes of sediment removed by the mechanical management of the *Posidonia oceanica* banquettes collected at 19 beaches distributed throughout the Balearic archipelago (2010-2018). The volume of sand removed was 39,343 m³, estimated at 82.1%, which is equivalent to 27,583.5 tons of sand.

Keywords: Balearic Islands, *Posidonia oceanica*, banquettes, mechanical cleaning, beach erosion.

Resumen: La retirada mecánica de restos vegetales de *Posidonia oceanica* depositados sobre la playa emergida, conocidos como banquettes o bermas vegetales, constituyen una parte de la limpieza de playas. Estas gestiones mecanizadas y continuadas a lo largo de las últimas décadas han dado lugar a la pérdida de superficies y volúmenes de playa. El estudio analiza los volúmenes de sedimento retirados mediante la gestión mecánica de las bermas de *Posidonia oceanica* retiradas en 19 playas distribuidas a lo largo de todo el archipiélago balear (2010-2018), cuantificando el volumen total en 39.343 m³, con un 82,1 % de sedimento intercalado, equivalente a 27.583,5 T de arena.

Palabras clave: Islas Baleares, *Posidonia oceanica*, berma, limpieza mecánica, erosión playas.

Roig-Munar, F.X., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J.Á., Gelabert Ferrer, B., 2019. Cuantificación de la pérdida de sedimento por la retirada mecánica de bermas (*banquettes*) de *Posidonia oceanica* en las playas de las islas Baleares: consecuencias geomorfológicas. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 32 (2): 73-86.

Introducción

Las playas y calas de las islas Baleares constituyen la oferta del turismo de sol y playa por excelencia, representando uno de los espacios más ofrecidos, explotados y frecuentados (Roig-Munar *et al.*, 2005). Estos espacios están

sometidos desde hace décadas a una problemática geoambiental, asociada a su uso y explotación, para adaptarlos al desarrollo intensivo de actividades centradas en periodos estivales. Entre ellas destacan las gestiones de limpieza y mantenimiento, que generan impactos ambientales con pérdida de superficie y volumen de playa (Simeone y de Falco, 2013).



El volumen de sedimentos que compone y se traslada a través de una playa define su balance sedimentario, siendo este igual al equilibrio entre los aportes y las pérdidas de sedimentos en un período de tiempo (Carter, 1988). Como consecuencia, los balances sedimentarios en una playa fluctúan sobre un rango de escalas temporales (Cowell y Thon, 1994). Actualmente, los balances sedimentarios son controlados tanto por las condiciones naturales como por las influencias antrópicas. Sin embargo, para mantener una playa a largo plazo, el balance debe ser positivo o al menos equilibrado, ya que los balances negativos en última instancia causan su erosión (Komar, 1999), e incluso su desaparición.

El grado de sensibilidad morfodinámica de los sistemas playa-duna presenta diferentes sectores de interrelación (Fig. 1), y sobre cada uno pueden darse una serie de medidas de gestión que afectan la estabilidad del sistema en conjunto. McLachan (1990) estableció que la sensibilidad ambiental de un sistema playa-duna se encontraba en su frente dunar, en la morfologías *foredune*, y que este sector determinaba en gran medida la estabilidad del sistema. Posteriormente Hesp (2002) estableció una clasificación morfoecológica para determinar estadios de naturalidad, degradación y recuperación en base a esta sensibilidad morfológica del sistema delantero. Estos autores definieron la *foredune* como el elemento clave para determinar el estado de un sistema dunar continental.

En el caso de las islas Baleares, Rodríguez-Perea *et al.* (2000) y Roig-Munar *et al.* (2018) ampliaron estas curvas de sensibilidad adaptadas a la realidad morfológica de las islas y a las gestiones que sobre el sistema playa-duna se dan. Estos puntos de sensibilidad han sido definidos a partir de las afectaciones asociadas a una incorrecta gestión sobre ellos. La

primera curva de sensibilidad, y asociada a los sistemas playa-duna de las islas Baleares, fue descrita por Rodríguez-Perea *et al.* (2000), y se sitúa sobre las praderas de *Posidonia oceanica* como hábitat productor de sedimento, estabilizador de la playa sumergida y disipador de la energía del oleaje. La segunda curva de sensibilidad, establecida por Roig-Munar y Martín-Prieto (2005), se sitúa sobre las bermas acumuladas de *Posidonia oceanica*, sobre la zona de *swash*, por su importancia como sector de transferencia sedimentaria entre los sectores emergido y sumergido, y como aporte de sedimentos y de materia orgánica entre la playa y las comunidades vegetales dunares, básicas para la estabilización, así como elemento amortiguador de la fuerza de los temporales. La tercera curva de sensibilidad se encuentra sobre la playa emergida, donde las actuaciones mecánicas de limpieza afectan a las morfologías efímeras de playa alta y a la desestabilización de taludes en los frentes dunares (Roig-Munar, 2004). La cuarta de las curvas se sitúa sobre los primeros cordones dunares, que define su debilitación, erosión y/o desaparición del conjunto playa-duna (Brown y McLachan, 1990; Rodríguez-Perea *et al.*, 2000; Hesp, 2002; Martín-Prieto *et al.*, 2016) y que se ve afectada por la urbanización, por la frecuentación de usuarios, por la presencia de servicios sobre el sistema y por la degradación de la vegetación dunar. De esta manera es posible diferenciar cuatro puntos críticos en el grado de sensibilidad del perfil playa-duna. No tener presentes estos puntos ha supuesto pérdidas de superficies y volúmenes de playa y duna, especialmente en las curvas de sensibilidad que gravitan sobre la berma, la playa y la *foredune* (Fig. 1).

El papel de la *Posidonia oceanica*

En el mar Mediterráneo, el papel morfoecológico de la *Posidonia oceanica* (Linnaeus Delile) es esencial en el equilibrio de los sistemas playa-duna. La *Posidonia* es una fanerógama marina endémica que habita preferentemente sobre sustrato blando (Marbà *et al.*, 2010), a una profundidad variable entre -0,1 y -43 m, dependiendo de la transparencia del agua (Bouderesque *et al.*, 2016). Su desarrollo horizontal sobre el sustrato es tal, que da lugar a lo que se conoce como praderas, siendo su extensión de decenas de kilómetros cuadrados, extendiéndose a lo largo de todo el litoral, y de forma especial frente a playas arenosas de las islas Baleares. En las Baleares estas praderas se estiman en una superficie de 633,16 km² (Fig. 2), equivalente al 13,2% de la superficie emergida (Ramos y Tello, 2015), y presentan una estructura de terrazas o arrecifes biológicos de raíces entrelazadas,

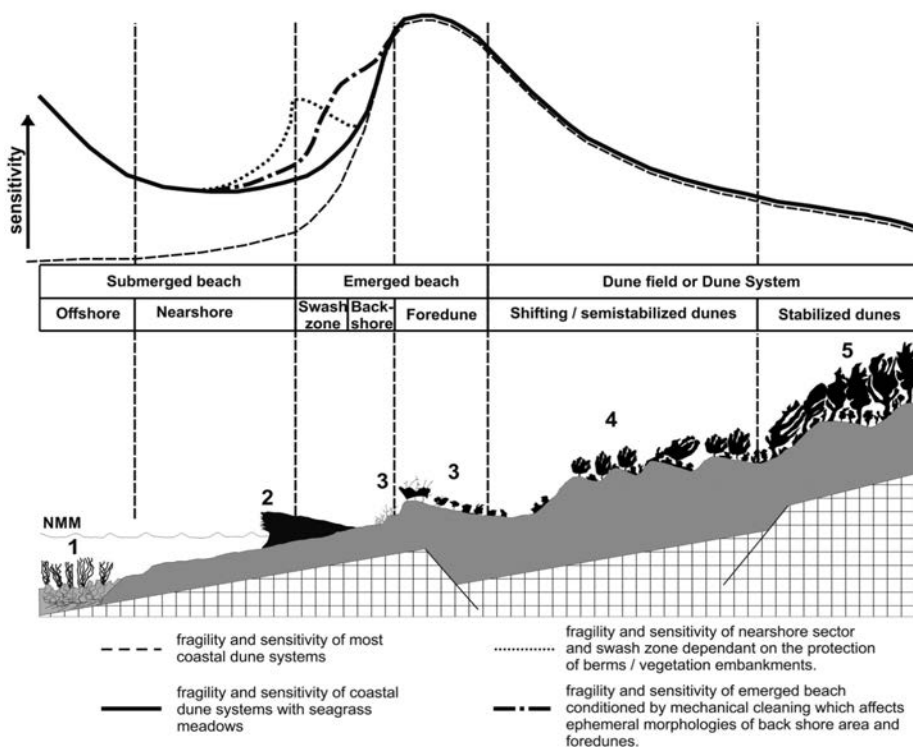


Fig. 1.- Curvas de sensibilidad geoambiental sobre los sistemas playa-duna de las islas Baleares. Fuente: Roig-Munar *et al.* (2018), modificada de Roig-Munar (2004), Rodríguez-Perea *et al.* (2000), y Brown y McLachan (1990).

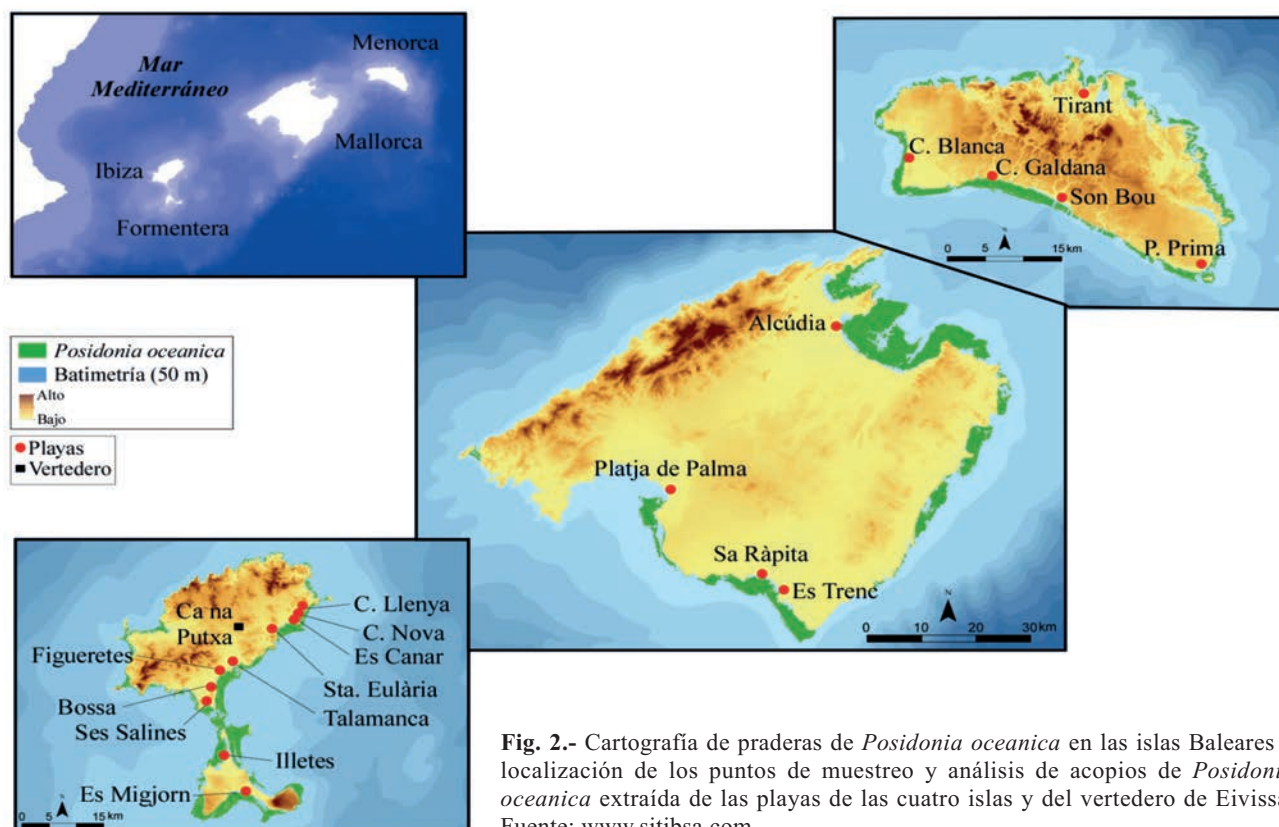


Fig. 2.- Cartografía de praderas de *Posidonia oceanica* en las islas Baleares y localización de los puntos de muestreo y análisis de acopios de *Posidonia oceanica* extraída de las playas de las cuatro islas y del vertedero de Eivissa. Fuente: www.sitibsa.com.

rizomas y sedimento que amortiguan la energía de las olas (de Falco *et al.*, 2008; Infantes *et al.*, 2009).

Varios autores han demostrado la influencia y dependencia de la naturaleza de las playas y de su dinámica sedimentaria de las praderas de *Posidonia oceanica* en el Mediterráneo (Bouderesque y Jeudy de Grissac, 1983; de Falco *et al.*, 2002, 2008). En el caso de las islas Baleares esta dependencia fue estudiada por Fornós y Ahr (1997), Rodríguez *et al.* (2000) y Gómez-Pujol *et al.* (2013a). La *Posidonia oceanica* pierde una parte importante de sus hojas en otoño, estimada entre 10 y 20 t/Ha, coincidiendo con el inicio de temporales (Medina *et al.*, 2001). Una parte de estas hojas es arrastrada por el oleaje a las zonas más profundas de la plataforma marina, aunque la mayor parte, entorno al 70%, se sitúa entre la zona de la pradera sumergida y el límite de la zona infralitoral (Servera, 1997; Rodríguez-Perea *et al.*, 2000). De aquí, las hojas muertas son transportadas por el oleaje y acumuladas sobre la playa en forma de bermas (Jeudy de Grissac y Audoly, 1985; Mateo *et al.*, 1997; Servera *et al.*, 2002), representando esta entre un 10 y un 25% de su producción anual en sedimentos (Medina *et al.*, 2001; Mateo *et al.*, 2003; Basterretxea *et al.*, 2007).

La acumulación de hojas muertas sobre la playa se produce de forma previsible en otoño e invierno (Pergent *et al.*, 1983; Vacchi *et al.*, 2017), aunque a lo largo de un año puede haber períodos de acumulación y retirada natural de estas bermas (Chessa *et al.*, 2000; Gómez-Pujol *et al.*, 2013b; Simeone *et al.*, 2013). Esta acumulación es un fenómeno común en las playas de todo el Mediterráneo, ya sea mediante depósitos de forma puntual o a lo largo de toda la línea de costa, formando las bermas vegetales (Jeudy de

Grissac y Audoly, 1985; Chessa *et al.*, 2000; Mateo *et al.*, 2003; Boudouresque *et al.*, 2016), que de forma más o menos rápida se convierten en sedimentarias. Las bermas sedimentarias, pueden ser consideradas como una característica resultante de la acumulación de la necromasa de hojas, rizomas, agua y sedimento sobre la playa (Rodríguez-Perea *et al.*, 2000; Simeone y de Falco, 2012, 2013; Boudouresque *et al.*, 2017). Pueden alcanzar potencias superiores a los 2,5 m, y anchuras que oscilan entre 1 m a varias decenas de metros que se extienden hacia tierra, como es el caso de las presentes en las islas Baleares (Fig. 3). Así mismo, las praderas de *Posidonia* constituyen una importante “fábrica de carbonatos”, y por ende de sedimentos de Falco *et al.*, 2002, 2008; (Fornós y Ahr, 2006; Mateu-Vicens *et al.*, 2012; Gómez-Pujol *et al.*, 2013a; Simeone y de Falco, 2013). Esta producción se puede estimar entre los 400 g/m² calculado para playas italianas (Gaglianone *et al.*, 2017) y casi 1000g/m² en Alicante (Ibarra *et al.*, 2016).

Esta acumulación de hojas muertas en el *shoreface* de la playa, y su deposición en forma de bermas sobre el *foreshore* tiene varias funciones morfodinámicas en el sistema playa-duna, y representan las curvas de sensibilidad más importantes del sistema (Fig. 1), desde la berma hasta la morfología dunar delantera, ya que:

1) Su presencia favorece una reducción en la velocidad y turbulencia de la ola rota debido a la mayor viscosidad del agua mezclada con restos de hojas que amortiguan el impacto de esta sobre la berma (Boudouresque y Meinesz, 1982; Boudouresque y Jeudy de Grissac, 1983; Mateo *et al.*, 2003; Duarte, 2004; Sánchez-González *et al.*, 2011; Infantes *et al.*, 2012; Manca *et al.*, 2012).



Fig. 3.- Diferentes forma de acumulación de bermas de *Posidonia oceanica* sobre la playa. A. Acumulación de hojas muertas en forma de berma de *Posidonia oceanica* sobre la playa de es Trenc (Mallorca). B.- Adose de barra sumergida sobre la berma y extensión de esta entono a los 15 m hacia tierra en sa Torreta (Menorca).

2) Ejerce una protección sobre la playa subaérea frente a la incidencia de los temporales (Fig. 4A), atenuando su energía directa sobre la playa (Serevera *et al.*, 2002; Mateo *et al.*, 2003; Roig-Munar y Martín-Prieto, 2005; Simeone, 2008; Elginos *et al.*, 2011; Simeone y de Falco, 2013; Boudouresque *et al.*, 2016).

3) La berma acumula sedimento intercalado tanto entre sus hojas como en la formación de capas alternas de sedimento y hojas muertas en su llegada a la playa (Fig. 4B), representando así el adose de las barras sedimentarias (Rodríguez-Perea *et al.*, 2000; Servera *et al.*, 2002; Roig-Munar y Martín-Prieto, 2005; Vassallo *et al.*, 2013). Por tanto, desde el punto de vista morfológico y sedimentológico representa la llegada de importantes cantidades de sedimento a la playa aérea.

4) Finalmente, desde la playa, las hojas muertas son transportadas por el viento hasta el interior del sistema dunar desde varias decenas a centenares de metros, aportando nutrientes a la vegetación dunar (Hemminga y Nieuwenhuize, 1990; Guala *et al.*, 2006; Cardona y García, 2008; Jiménez *et al.*, 2017), e incorporando los sedimentos adheridos en sus hojas (Fig. 5) a lo largo del perfil playa-duna (Roig-Munar *et al.*, 2007).

A pesar de la apariencia inhóspita de la berma vegetal sobre la playa, su presencia no constituye un desper-

dicio o un producto peligroso (Chessa *et al.*, 2000); sin embargo, la mayoría de administraciones las interpretan como un elemento que ofrece mala imagen para sus playas, siendo removidas y retiradas como una parte esencial en la gestión de limpieza de playas (Roig-Munar *et al.*, 2017, 2018). Por razones estéticas las administraciones se amparan en ofrecer “playas limpias” por y para la supuesta comodidad de los usuarios (Ochieng y Erfte-meijer, 1999; Roig-Munar y Martín-Prieto, 2005; Boudouresque *et al.*, 2016). Este tipo de gestión ha dado lugar a una regresión de las playas por pérdida sedimentaria (Pergent y Kempf, 1993; Servera y Martín, 1996; Pasqualini *et al.*, 1997; Manca *et al.*, 2013; Simeone *et al.*, 2013; Martín-Prieto *et al.*, 2016). Por otro lado se da una pérdida de materia orgánica que disminuye tanto el desarrollo de microorganismos y fauna intersticial como la cantidad de nutrientes necesarios para las comunidades vegetales (Llewellyn y Shackley, 1996; Gheskiere *et al.*, 2006; Cardona y García, 2008; de Vecchio *et al.*, 2013), que sustentan el sistema dunar y permiten su equilibrio (Fig. 5). De este modo el mantenimiento de la berma es esencial para la protección de la playa y del conjunto del sistema playa-duna (Cantasano, 2011; Manca *et al.*, 2013; Boudouresque, 2016, 2017).



Fig. 4.- Acumulación de hojas muertas de *Posidonia oceanica* intercaladas con capas de sedimento, fruto del adose de barras sumergidas sobre la berma. A. Disipación del oleaje sobre la berma, en son Saura del Sur (Menorca) B. Imbricación de barras de sedimento sobre bermas de *Posidonia*, en cala en Bosch (Menorca).



Fig. 5.- Presencia de restos de hojas de *Posidonia oceanica* transportadas por el viento en el sector de dunas delanteras como nutrientes de las comunidades dunares. A. Playa de Tamarells N (Menorca). B. Playa de sa Torreta (Menorca).

Antecedentes de gestión de las bermas de *Posidonia oceanica*

Actualmente, y a causa de la afluencia turística en el litoral balear, las bermas de *Posidonia* de las islas Baleares (Figs. 3 y 4) son retiradas de manera sistemática al inicio de la temporada turística, coincidiendo con las semanas previas a Semana Santa, pero de modo especial a lo largo del período estival, tanto en playas urbanas como naturales. En este sentido, un estudio realizado en el Mediterráneo por Mossone *et al.* (2018) asegura que el turismo no puede aceptar políticas de gestión que no contemplen la eliminación de las bermas. Esta retirada se realiza con maquinaria pesada generalmente tractores, excavadoras o retroexcavadoras (Fig. 6), implicando impactos de carácter geomorfológico y sedimentológico sobre la playa emergida, además de la desprotección de la playa frente a eventuales temporales (Roig-Munar y Martín-Prieto, 2005; de Falco *et al.*, 2008; Bouderesque *et al.*, 2017; Roig-Munar *et al.*, 2017).

Esta práctica influye en la morfología de la playa emergida, alterando su perfil y eliminando sus características morfológicas y sedimentarias, como son las ber-

mas, *cusps* y *ripples* (Fig. 7), así como afectando a la zona de *swash*, en particular al *run-up*. Con ello, tanto por las maniobras de la máquina como por la acción del oleaje, debido a la desprotección de la playa, se facilita la destrucción del pie de la duna y de las neomorfologías de playa alta y su vegetación asociada (Rodríguez-Perea *et al.*, 2000; Roig-Munar, 2004; Vacchi *et al.*, 2017). Por otra parte, se pierde una importante cantidad de sedimento intercalado en las bermas de *Posidonia* que salen del sistema, ya que esta es retirada, acarreada y depositada lejos del sistema, considerándola como un residuo y creando depósitos multianuales (Fig. 8), dando lugar a unos balances sedimentarios negativos de forma continuada (de Falco *et al.*, 2008; Simeone, 2008; Roig-Munar *et al.*, 2011; Manca *et al.*, 2013; Simeone y de Falco, 2013).

Para analizar las consecuencias de estas gestiones se analizaron los valores de pérdida sedimentaria asociada a la retirada de bermas de *Posidonia* en diversas playas de Francia e Italia. Chesa *et al.* (2000) analizaron el contenido de arena de las bermas en la isla de Cerdeña, mostrando un contenido máximo de 43 kg/m³. Posteriormente en la misma isla se analizaron 44 playas con un volumen de *Posidonia* retirada de 106.000 m³, dando como resultado que



Fig. 6.- Uso de maquinaria para la retirada de las bermas de *Posidonia*. A. Desmante de la berma en dirección tierra mar, en playa d'en Bossa (Ibiza). B. Desmante de la berma en dirección mar a tierra, en playa de Talamanca (Ibiza).



Fig. 7.- Resultados de la retirada mecánica de bermas de *Posidonia oceanica* que han alterado el perfil natural de playa en toda su extensión. A. Playa de Talamanca (Ibiza). B. Playa d'es Canar (Ibiza).

en playas con arena de un tamaño de grano grueso, el contenido de arena extraído era de 112 kg/m^3 , mientras que las playas de arena de tamaño fino el contenido era de $57,5 \text{ kg/m}^3$ (de Falco *et al.*, 2002; Guala *et al.*, 2006). Otros autores estimaron una concentración de sedimentos en diferentes bermas de Cerdeña de 95 kg/m^3 , donde la extracción de 1000 m^3 implicó la pérdida de entre 19 y 44 m^3 de sedimento (Simeone, 2008; Simeone y de Falco, 2013). En las playas de la provincia de Livorno la retirada de la berma representó, en sedimento, aproximadamente el 70% del peso total de la acumulación, mientras que el porcentaje en volumen sedimentario osciló entre el 35 y el 42% del volumen total (Livorno, 2006). En el litoral de Liguria se realizó una monitorización de bermas en diferentes playas, en los años 2006 y 2007, con un volumen de *Posidonia* retirada de 2524 t , donde 1224 t era sedimento intercalado en las bermas retiradas, obteniendo una distribución de un valor medio de $92,8 \text{ kg/m}^3$ (de Falco *et al.*, 2008; ISPRA, 2010). En el sur de la isla de Córcega, Viro (2012) realizó un análisis de sedimento asociado con la retirada de las bermas, dando resultados de pérdidas estimadas entre 6 y 159 kg/m^3 , con un promedio de 50 kg/m^3 . Esta diferencia se atribuyó a la exposición y al tamaño de la playa, y a la estacionalidad, estimando que en aquellas donde se retiraba

la *Posidonia* la erosión era del 25% frente a un 7% de erosión en las que no se retiraba.

En el Mediterráneo español, Yepes y Medina (2007) estimaron el sedimento retirado en la gestión mecánica de la *Posidonia* en $500 \text{ m}^3/\text{km}/\text{año}$ en playas de Valencia. Ariza *et al.* (2008) calcularon unos valores de sedimento retirado del 80% en las tareas de limpieza de playas del litoral del área metropolitana de Barcelona. Guillen *et al.* (2014) estimaron que la extracción de 1000 m^3 de *Posidonia* en 12 playas de Alicante implicó una pérdida de 19 a 44 m^3 de sedimento. En el caso de las islas Baleares, Asensi y Servera (2004), en la playa de Alcúdia (Mallorca), cuantificaron en un 23% el contenido de arena en una acumulación de *Posidonia* retirada a un extremo de la playa. Roig-Munar *et al.* (2007) cuantificaron la pérdida de contenido sedimentario en bermas retiradas en la playa de Tirant (Menorca), obteniendo pérdidas de entorno al 4%. Estos valores estarían vinculados al poco tiempo de residencia de las bermas en la playa, sin el adose de material sedimentario procedente de las barras sumergidas (Fig. 4). Posteriormente Roig-Munar *et al.* (2011) analizaron acopios multitemporales de las playas de Eivissa con valores del 59,3% de sedimento intercalado. Finalmente, Guillen *et al.* (2013) estudiaron 13 áreas de la costa mediterránea española cen-



Fig. 8.- Acopios multianuales de bermas retiradas de *Posidonia oceanica*, donde se puede observar la cantidad de sedimento presente en los acopios tratados como residuos. A. Acopio de la playa Figueretes (Eivissa). B. Acopio de la playa de Alcúdia (Mallorca).

trándose en las islas de Formentera y Menorca, y en 11 playas del Levante español, desde Castellón hasta Murcia, obteniendo valores estimados de retirada de *Posidonia* de 1975,11 t/km/año, tratada como residuo y con un coste medio de retirada por municipio de 25.000 € anuales. Sin embargo, tal como señalaban Guillen *et al.* (2013), una de las mayores dificultades del estudio en el Mediterráneo español, es la obtención de datos de volúmenes y períodos de retirada de las bermas, ya que en muchas ocasiones las gestiones son realizadas por empresas privadas o por agricultores que no contabilizan los volúmenes retirados, los días de actuación ni el destino y ubicación de los acopios, dificultando disponer de datos históricos relacionados con este tipo de gestión.

La gestión de las bermas de *Posidonia oceanica* en las islas Baleares es realizada directamente por los ayuntamientos, amparándose en el artículo 115 de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, ya que su competencia abarca la limpieza de playas y lugares públicos de baño. A pesar del cumplimiento de esta ley por parte de la administración, las técnicas y los métodos seguidos incumplen el reglamento general para el desarrollo y ejecución de la ley, donde en su artículo 2º hace referencia a que “las actuaciones administrativas sobre el dominio público marítimo-terrestre perseguirán la integridad del sistema en su conjunto”. La retirada de las bermas, su acarreo y su transporte fuera del sistema playa-duna (Fig. 8) da lugar a la erosión continuada del sistema por pérdida continua de sedimento (Rodríguez-Perea *et al.*, 2000; Roig-Munar *et al.*, 2017, 2018) que es transportado a vertederos o destinado a un uso agrario o ganadero (Servera *et al.*, 2002; Martín-Prieto *et al.*, 2016, 2018).

Objetivos y metodología

Se ha analizado el contenido sedimentario de los acopios procedentes de la retirada de las bermas de *Posidonia oceanica*, que corresponden al 10,1% de las playas de las Baleares, representando el 12,2% de las playas urbanas (tipología A) y el 7,9% de las playas naturales con servicios (tipología B), según Roig-Munar y Comas-Lamarca (2005). En conjunto el estudio supone el análisis de 18,76 km de costa arenosa, de los que 3,38 km corresponden a la morfología de calas y 15,37 km a playas.

El objetivo de este trabajo se centra en cuantificar el contenido sedimentario de las bermas de *Posidonia oceanica* retiradas en las playas de las islas Baleares, y establecer el volumen de sedimento retirado asociado a su gestión. El estudio ha sido realizado mediante muestreos en acopios recientes en playas y calas de las islas Baleares (Fig. 2), y muestreos en los acopios multitemporales depositados en el vertedero de Ca na Putxa, en la isla de Eivissa, (2004-2009), que representan el único valor histórico del que se dispone en todas las islas Baleares, ya que los acopios eran trasladados a la planta como residuo.

En concreto, se realizó el análisis de 68 muestras de acopios de bermas retiradas de *Posidonia oceanica* entre los años 2010 y 2018 en 19 playas y calas de las cuatro islas (Fig. 2 y Tabla 1), tanto en playas urbanas (de tipo-

logía A) como en playas naturales (de tipología B), así como de 12 muestras aleatorias del vertedero de Ca na Putxa en 2009 (Tabla 1). El muestreo de cada acopio se realizó de forma aleatoria, en diferentes puntos y a diferentes profundidades, entre 55 y 100 cm, evitando la partes superficiales, ya que estas tienden a presentar mayor porcentaje de sedimento por el secado de las hojas de *Posidonia* asociadas a su tiempo de residencia (Roig-Munar *et al.*, 2004). La extracción de las muestras se realizó mediante sondeos verticales, siguiendo la metodología de Campbell y Henshall (1991), con una muestra cilíndrica de 5.5 x 22 cm, equivalente a un volumen de 522 cc. Los muestreos fueron realizados entre los meses de abril y mayo, coincidiendo con las tareas de limpieza de principio de temporada, y a final de temporada, en septiembre y octubre.

Las muestras se trataron en el laboratorio para determinar su contenido de agua, de sedimento y de materia orgánica. Se dejaron secar a temperatura ambiente, para pasar, finalmente, un ciclo de 48 horas en la estufa a 65°C a fin de no dañar la materia orgánica (McManus, 1988; Blair y McPherson, 1994). El contenido en materia orgánica total se determinó por calcinación. Este proceso de calcinación se basó en el uso de una estufa a 550°-600° durante 3-4 horas, permitiendo extraer el porcentaje de sedimento de cada uno de los acopios analizados.

Finalmente, se determinó el volumen total de sedimento de cada uno de los acopios analizados, obteniendo el volumen de la muestra en metros cúbicos en las 19 playas y calas, y el volumen de *Posidonia* depositado en el vertedero en base a los datos facilitados en toneladas acopiadas y tratadas como residuo.

Resultados

Porcentaje de sedimento en las bermas de playas y calas

El volumen total de acopios analizado en las 19 playas y calas es de 39.643 m³ (Tabla 1), que se distribuyen en 5442 m³ analizados en calas y 34.201 m³ en playas. El porcentaje de sedimento intercalado en los acopios de estas bermas supone una media del 82,1% del volumen total, resultado de la división del volumen acopiado y el resultado del sedimento muestreado. Estos porcentajes presentan rangos entre el 77% en la isla de Menorca y el 85% en la isla de Mallorca, mientras que Formentera e Eivissa presentan valores de 82% y 84%, respectivamente (Tabla 1). El resultado supone un volumen de 34.180 m³ de sedimento intercalado en las bermas retiradas.

Por lo que respecta al porcentaje sedimentario en playas de tipología A y B, estas presentan valores de pérdida muy similares, entre el 81,3% en playas de tipología A y el 81,6% en playas de tipología B, valores superiores a los registrados en Córcega, de 95 Kg/m³ (Simeone, 2008; Simeone y de Falco, 2013) y Cerdeña, con valores de entre el 35 y el 42% del volumen total (Livorno, 2006), y los valores previos analizados en Eivissa, Mallorca y Menorca, que oscilan entre el 4% y el 59,3% (Asensi y Servera, 2004; Roig-Munar *et al.*, 2007; Roig-Munar *et al.*, 2011). No obstante, los valores obtenidos en este

Isla	Unidades	Morfología	Tipo playa	Año muestreo	Núm de muestra	Vol. acopio m ³	Sedimento (%)	Vol. Arena m ³	m playa	m ³ /m playa	% Pérdida
Eivissa	Acopios Cana Putxa	Multiple	Multiple	2004-2009	12	5.9397,12	89,24	53.005,97			89%
	Sta. Eulàlia	cala	A	2011	3	1760	92	1611	660	2,44	
Ivissa	Cala Nova	cala	B	2011	3	363	89	322	341	0,95	
	Cala Llenya	cala	A	2011	3	267	90	240	188	1,28	
	Es Canar	cala	A	2011	3	2176	93	2024	344	5,88	
	Bossa	platja	A	2017	3	121	68	82	574	0,14	
	Talamanca	cala	A	2017	3	208	92	192	646	0,30	
	Figueres	cala	A	2017	3	125	79	99	417	0,24	
	Ses Salines	playa	B	2013	6	1634	73	1194	825	1,45	
	Es Migjorn Illetes	playa	B	2012	6	2786	80	2228	1560	1,43	
Formentera		playa	B	2013	6	7440	85	6308	875	7,21	82%
Menorca	P. Prima	cala	A	2016	3	131	68	89	215	0,41	
	Son Bou	playa	A	2016	3	308	87	267	706	0,38	
	Tirant	cala	A	2018	3	233	70	162	60	2,70	
	Cala Blanca	cala	A	2017	3	73	91	67	38	1,75	
	Galdana	cala	A	2017	3	107	65	70	477	0,15	
Mallorca	Alcúdia	playa	A	2018	6	10043	92	9280	3614	2,57	
	Sa Rapita	playa	B	2018	3	352	82	290	1335	0,22	
	Es Trenc	playa	B	2018	3	7167	90	6414	2335	2,75	
	P. Palma	playa	A	2018	2	4350	75	3241	3550	0,91	
											85%

Tabla 1.- Resultados obtenidos para cada acopio de playa y para el vertedero de Eivissa (Fig. 2). Se indican las playas analizadas, la morfología de playa, años de muestreo y número de muestras, así como los valores de volumen del acopio y sedimento, longitud de playa o cala y los m³/m por playa.

estudio son comparables a los establecidos por Ariza *et al.* (2008) en las playas de Barcelona, con un 80%.

En cambio, la cantidad de sedimento retirado por longitud de playa (m^3/m) fue un 18% mayor en las playas en comparación con las calas, con un 1,89 y 1,60 m^3/m respectivamente, aunque no existen apenas diferencias con los valores medios. Para cada tipo de playa se ha calculado la relación entre la cantidad total eliminada de bermas y la longitud total de la playa (Fig. 9), donde se aprecia una relación entre la línea de costa y la acumulación de m^3 de bermas de *Posidonia oceanica*, con una clara concentración de las playas en las zonas con mayor volumen de acopio, relacionado posiblemente con la potencia y el período de residencia de la berma en estas playas, mientras que en las calas se da una menor volumen de retirada. En la Figura 9, las calas indican que no hay relación entre la longitud de la cala y el volumen del acopio, posiblemente debido a los efectos más locales de las calas (algunas más expuestas y otras más cerradas) que condicionan el volumen y la cantidad de las bermas presentes. En cambio en las playas estos efectos más locales no son tan destacables, y hay una buena correlación entre la longitud y el acopio retirado. En relación a la longitud de las playas afectadas representa 0,93 $\text{m}^3/\text{m}/\text{año}$, valor que se sitúa en el orden de magnitud de los obtenidos por Yepes y Medina (2007) en playas de Valencia (0,5 $\text{m}^3/\text{m}/\text{año}$) y los valores obtenidos por Guillen *et al.* (2013) en playas del Levante español y de Baleares (1,31 $\text{m}^3/\text{m}/\text{año}$). Estos resultados porcentuales de retirada de sedimento de las playas analizadas (Tabla 1) no difieren de los resultados obtenidos en estudios previos a lo largo del Mediterráneo, y no son atribuibles únicamente al contenido sedimentario imbricado en las bermas retiradas (Fig. 4), si no que un importante porcentaje es el resultado de los sistemas de limpieza aplicados posteriormente a la retirada de las bermas (Roig-Munar *et al.*, 2017). La priorización de dejar playas estéticamente limpias y aptas para su uso da lugar a tareas de rascado final de los restos de bermas que no han podido ser

retirados mediante maquinaria (Fig. 7), dando lugar a una erosión mayor a la obtenida mediante la retirada de bermas con escasa residencia en la zona de playa y sin el adose de las barras submergidas sobre la berma (Roig-Munar *et al.*, 2007).

Acopios multitemporales depositados en el vertedero de Ca na Putxa

Como señaló Guillen *et al.* (2013) los datos de las gestiones de *Posidonia* son difíciles de obtener; en el caso de las islas Baleares tan solo se han podido disponer de datos oficiales del Consell Insular de Eivissa, relativos al depósito de *Posidonia* de los cinco municipios de la isla en el vertedero de Ca na Putxa (Fig. 2) entre los años 2004 y 2009. Estos datos son volúmenes de *Posidonia* retirados de las playas de la isla con similar metodología de retirada (Figs. 6 y 7). El volumen destinado al vertedero entre 2004 y 2009 fue de 57.397 m^3 (Tabla 1). A partir del año 2010 el Consell de Eivissa decidió cerrar la entrada de *Posidonia oceanica* en el vertedero, debido a la saturación de este y no por motivos asociados a los impactos erosivos derivados de la incorrecta gestión de bermas que afectaba de forma regresiva las playas.

Del análisis de las 12 muestras aleatorias tomadas en 2009 en el vertedero de Ca na Putxa se ha obtenido un porcentaje de sedimento intercalado en las bermas retiradas del 89% de sedimento sobre el volumen total, que es por tanto superior a los valores obtenidos en las muestras de los acopios realizados en las playas. Con ello se acumuló en el vertedero un volumen de arena estimado de 53.006 m^3 (Tabla 1), lo que supone, a nivel insular, una pérdida irreversible de sedimento, que en promedio anual alcanzó los 4009 m^3 (Fig. 10).

Impacto en las playas y gestión de las bermas

Los resultados de los muestros realizados no pueden ser atribuidos a diferencias entre ellos, ya que han sido realizados en

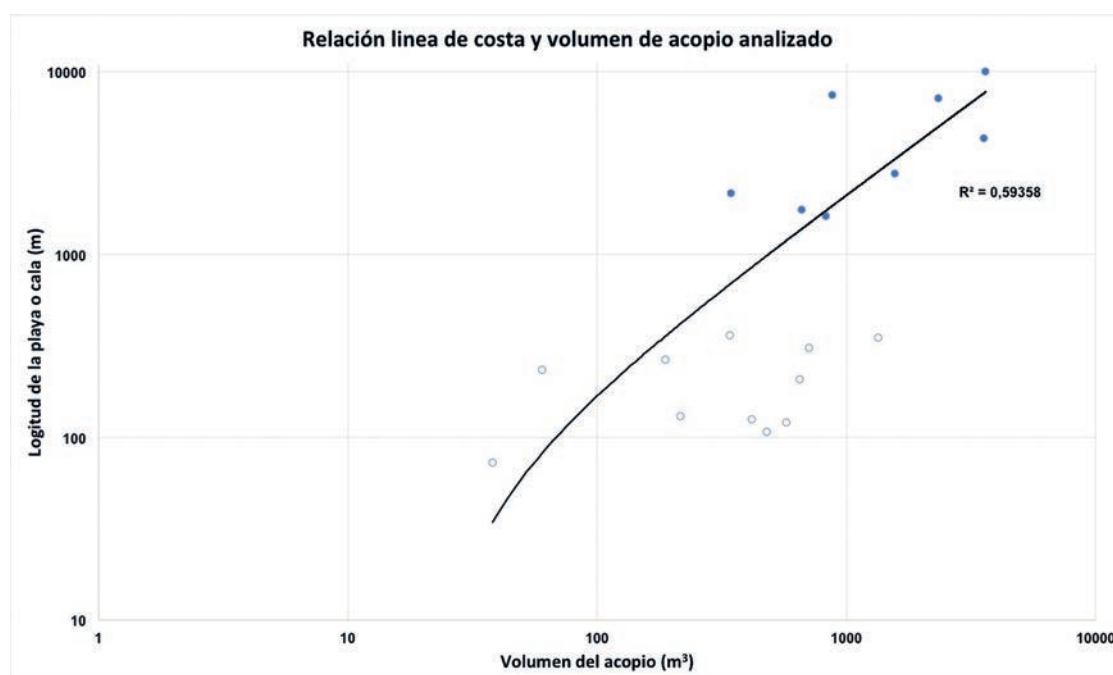


Fig. 9.- Relación entre el volumen de sedimento retirado y la longitud de la playa y cala analizada. En color blanco se representan las calas y en azul las playas (ver Tabla 1).

los mismos períodos y en playas donde las gestiones de retirada son similares, y donde la eliminación de la berma de *Posidonia oceanica* es una práctica extendida desde hace décadas, con finalidades de mejorar, supuestamente, el uso recreativo de las playas y basándose en una errónea concepción de “playa limpia”. Esta eliminación se lleva a cabo mediante maquinaria pesada (Fig. 6) y hasta hace aproximadamente 15 años las retiradas eran realizadas durante todo el año, en verano con finalidades turísticas y en invierno con finalidades agro-ganaderas. Aunque se hacía con similar metodología y maquinaria a la utilizada actualmente, en invierno se priorizaba la retirada de bermas con mayor contenido de sedimento, para el enarenado de parcelas de uso agrario y ganadero, afectando de forma regresiva al sistema playa-duna por la creación antrópica de balances sedimentarios negativos continuamente.

La presencia o ausencia de berma de *Posidonia* en las playas y calas de Baleares resulta determinante en la configuración y equilibrio del perfil del sistema playa-duna (Roig-Munar y Martín-Prieto, 2005). El impacto que supone la retirada de estas afecta de forma considerable a sus puntos de sensibilidad ambiental de berma, playa y *foredune* (Fig. 1), y su retirada contribuye a la desprotección de la playa frente a eventuales temporales marinos (Roig-Munar y Martín-Prieto, 2005; de Falco *et al.*, 2008; Bouderesque *et al.*, 2010, 2017; Roig-Munar *et al.*, 2018), aumentando el *run-up* y afectando las bases de las morfologías dunares (Roig-Munar y Martín-Prieto, 2005; de Falco *et al.*, 2008). Su retirada influye en la morfología de la playa emergida (Fig. 11), alterando su perfil y eliminando las características sedimentarias (bermas, *cusps*, *ripples*) de la playa.

A pesar que estas actuaciones de afectación al sistema aéreo pueden ser corregidas mediante gestión o bien en algunos casos mediante procesos de renaturalización, los volúmenes de pérdida sedimentaria actualmente son irreversibles, con una media del 82% de sedimento intercaldado (Tabla 1 y Figs. 8 y 10), dando lugar a una relación directa entre erosión de superficies de playa y volúmenes del

conjunto del sistema playa-duna en Baleares (Martín-Prieto *et al.*, 2018), ya que anualmente durante décadas estas gestiones han dado lugar a *inputs* sedimentarios negativos. Estas prácticas se realizan generalmente sin criterios geomorfológicos, por lo que se eliminan anualmente cientos de metros cúbicos de sedimento (Fig. 10) que se encuentra incorporado en las bermas (Roig-Munar y Martín-Prieto, 2005; Simeone 2008, Simeone y de Falco 2013), y sedimento de playa emergida debido a la forma de arrastre de la maquinaria sobre la superficie de playa (Fig. 7), alterando negativamente el balance sedimentario del sistema.

Previo a la retirada deberían considerarse aspectos geomorfológicos relacionados con el depósito, potencia y longitud de la berma, la exposición de la playa, la previsión de temporales de incidencia directa, y la concentración de sedimentos en la berma eliminada (Roig-Munar *et al.*, 2018), ya que según el período de residencia media, entorno a los 2,5 días en playas, según Gómez-Pujol *et al.* (2013b), la berma puede contener más o menos sedimento (Roig-Munar *et al.*, 2004, 2007), e implicar mayor o menor erosión asociada a su gestión.

La gestión de estas bermas se ha venido realizando de diversas formas que pueden agruparse en (Fig. 12):

1) Conservación sin afectación antrópica. La no afectación o intervención antrópica sobre la berma favorece la protección de la playa en todos sus aspectos (morfológicos, sedimentológicos y vegetales), y es especialmente recomendable en playas y calas ubicadas en espacios naturales (tipología B). La playa no se ve afectada y el ciclo geomorfológico y biológico del sistema playa-duna no se ve alterado de forma continuada.

2) Retirada tradicional mediante maquinaria y destino fuera del sistema. Esta retirada conlleva balances sedimentarios negativos (Fig. 8), tanto cuando se produce un uso agro-ganadero del material como en su gestión como residuo. El volumen de sedimento exportado fuera del sistema playa-duna supone una pérdida irreversible de volumen y superficie de playa de forma continuada (Fig. 10). En los casos que

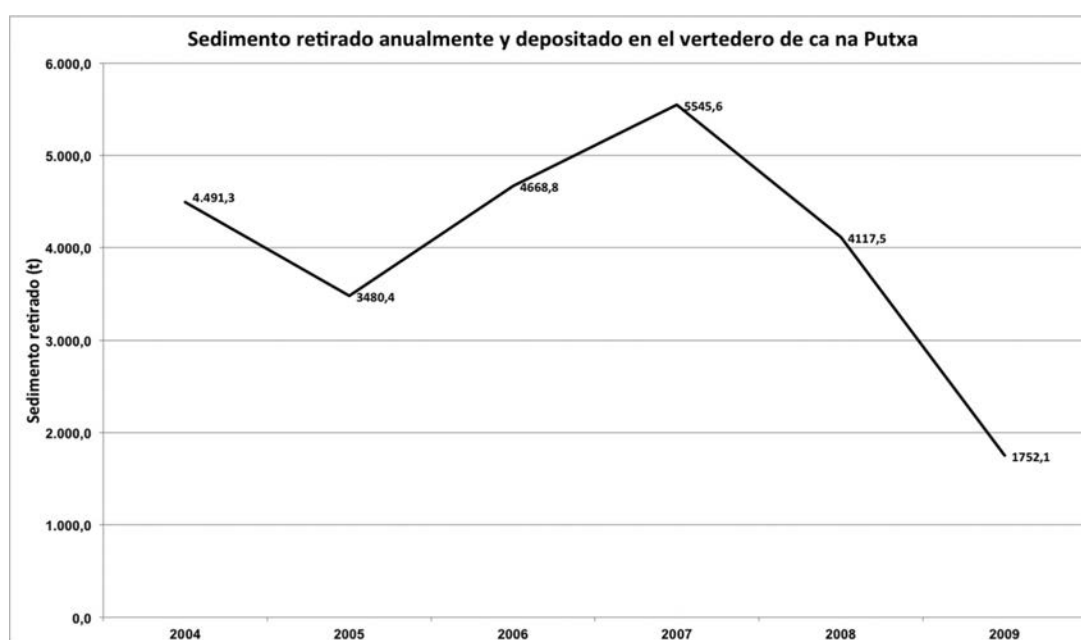


Fig. 10.- Evolución 2004-2009 del volumen de arena asociado a la retirada de bermas de *Posidonia oceanica* destinado al vertedero de la isla de Eivissa.

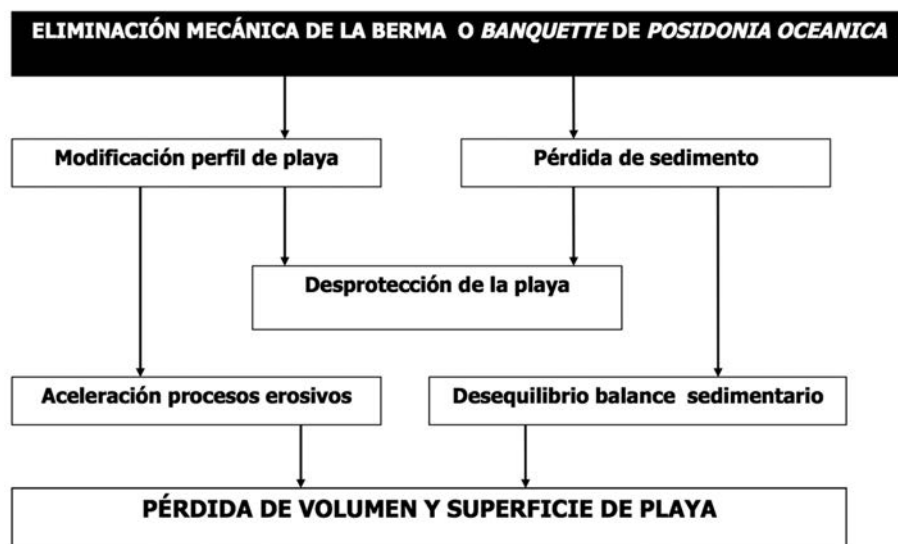


Fig. 11.- Consecuencias geomorfológicas de la retirada sistemática de las bermas de *Posidonia oceanica*.

la berma presenta potencias que pueden ser niveladas mediante el perfil de playa se puede optar por nivelar el sistema playa sobre la berma para acelerar de forma inversa el adose de barras sobre esta (Fig. 4), evitando su retirada y erosión (Roig-Munar *et al.*, 2017, 2018).

3) Retirada con acopio temporal y posterior retorno. En algunas playas la retirada es únicamente temporal, y circunscrita al período turístico o de máximo uso de playa. Esta retirada es acopiada en espacios destinados a recuperar el material sedimentario asociado a las bermas, que son recuperados al finalizar la temporada turística, ya sea mediante cribado o mediante retorno. Esta recuperación consiste en:

a) Realización de acopios temporales para decantar el sedimento intercalado en las bermas mediante cribado o bien por decantación y lixiviado;

b) Retorno de las bermas acopiadas a la playa emergida, en la zona de *swash*, favoreciendo el retorno del sedimento intercalado y retirado en temporada turística, así como la creación artificial de una berma de protección de playa (Fig. 13A);

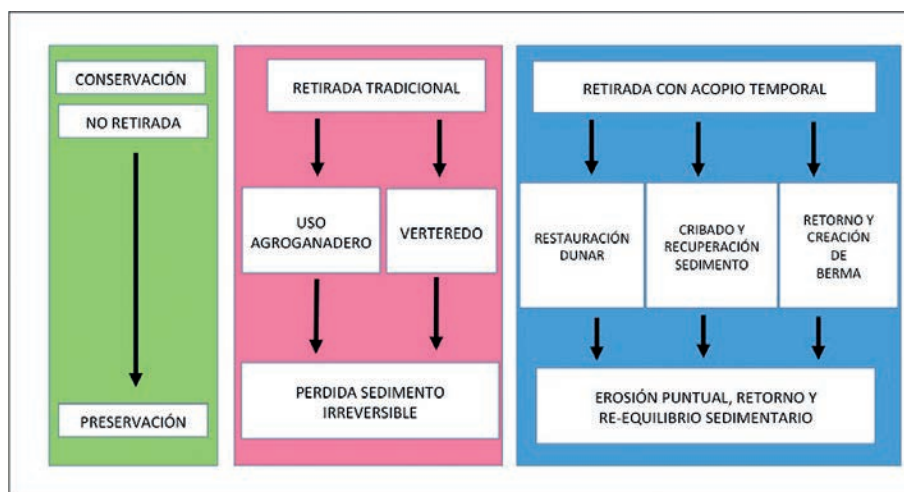


Fig 12.- Impacto geomorfológico de retirada de las bermas de *Posidonia oceanica* de la playa según la metodología utilizada y su destino.

c) Parte de los materiales pueden ser utilizados para la restauración de morfologías erosivas de frente dunar, aportando el sedimento y materia orgánica previamente retirados, que favorecen la aceleración de la colonización vegetal (Fig. 13B). Esta metodología aplicada en sistemas playa-duna con presencia de morfologías transgresivas tipo *blowout* o con superficies de deflación actúa como elemento de interferencia eólica aumentando la rugosidad del sustrato, incorporando directamente las acumulaciones sobre la base erosiva y emulando la forma y altura de la morfología. Estas actuaciones favorecen la retención sedimentaria por interferencia eólica, así como la rápida colonización de

primeras comunidades vegetales por el aporte de materia orgánica (Roig-Munar *et al.*, 2006).

Conclusiones

La *Posidonia oceanica* es un ecosistema clave para la productividad y biodiversidad del medio marino costero y muy relevante en la dinámica de las costas sedimentarias mediterráneas, especialmente en las islas Baleares. Por lo tanto, es un hábitat que en todas las formas y/o condiciones requiere todo esfuerzo de protección y conservación, y así lo contempla de la Directiva Hábitat de la Unión Europea. Su producción de biomasa asociada a las praderas hace que una parte importante de esta en forma de hojas muertas se distribuya y sedimente en la zona supralitoral formando una masa vegetal compacta, berma vegetal o *banquette*. Sus múltiples funciones como la protección en el caso de temporales de la playa subaérea y la reducción en la velocidad y turbulencia de la ola rota, así como la llegada de importantes cantidades de sedimento, suponen un factor capital de las curvas de sensibilidad ambiental de la playa y que se encuentran en desequilibrio debido a estas gestiones mecánicas.

Estas bermas vegetales son retiradas sistemáticamente de la playa con maquinaria pesada, en una práctica habitual en la mayoría de playas del Mediterráneo occidental, constituyendo una pérdida sedimentaria que afecta al balance sedimentario del sistema playa-duna. El análisis del contenido sedimentario de 68 muestras de las bermas de *Posidonia oceanica* retiradas con maquinaria en 19 playas y calas de las cuatro islas Baleares y en el vertedero municipal de Ca na Putxa, ha permitido cuantificar una pérdida de sedi-



Fig. 13.- Uso de bermas retiradas de *Posidonia oceanica* con finalidades de recuperación dunar o recuperación de playa. A. Sistema dunar delantero recuperada mediante aporte de restos de *Posidonia oceanica* retirada, en playa de es Grau (Menorca). B. Retornos de acopios multitemporales en la zona de batida de oleja en la playa Figueretes (Eivissa).

mento de 82% en las playas y de 89% en el vertedero, lo que equivale a un total de 55.171 t de arena que no retornan al sistema playa-duna. En un horizonte temporal sobre la longitud total de playas analizadas se ha obtenido un valor de 0,93 m³/m/año. Es un valor que está en el mismo orden de magnitud de los obtenidos por Yepes y Medina en playas de Valencia (0,5 m³/m/año) y por Guillén *et al.* (2013) en playas del Levante español y de las Baleares (1,31 m³/m/año). Los resultados obtenidos de sedimento intercalado corresponden a las tareas de limpieza mecánica y no al sedimento intercalado de forma natural en las bermas de *Posidonia oceanica*, ya que los volúmenes pertenecen no solo al sedimento intercalado en la berma, sino a la playa emergida y a las barras submergidas que son desestructuradas en las labores de limpieza y nivelado de playa.

Así pues, estas gestiones de limpieza de playa con maquinaria, y sin criterios, no han favorecido la integridad del sistema en su conjunto ya que ha interferido de forma erosiva en los balances sedimentarios entre el perfil de la playa emergida y playa sumergida, afectados de forma directa y continuada con la pérdida de sedimento (Roig-Munar, 2004; Roig-Munar y Martín-Prieto, 2005). Algunos autores relacionan parte de la regresión de playas a las actuaciones de retirada de *Posidonia oceanica* (Martín-Prieto *et al.*, 2017, 2018), aunque probablemente no es la única causa, pero sí es uno de los factores determinantes. Resultado de este estudio consideramos interesante abrir la línea de investigación del contenido sedimentario de las berbas de *Posidonia oceanica* en las fase de deposición y sedimentación.

Agradecimientos

Parte de los datos expuestos en este trabajo se han extraído de los proyectos relacionados con los balances sedimentarios de las playas de la isla de Eivissa y Formentera contratados por el Consell Insular de Eivissa, el Consell Insular de Formentera, el Ayuntamiento de Sant Josep de sa Talaia, el Ayuntamiento de Eivissa y el Ayuntamiento Santa Eulàlia des Riu. Agradecemos las facilidades puestas en todo momento para la obtención de datos y para los accesos a los acopios al vertedero de Ca na Putxa. En particular agradecemos a los técnicos; Jaume Estrelles, del Consell insular de Eivissa, a Raül Luna del Ayuntamiento de Sant Josep de sa

Talaia, a Javier Gómez del Ayuntamiento de Santa Eulàlia, a Sandra Romero del Ayuntamiento de Eivissa, a Javier Asensio del Consell Insular de Formentera, a Diego Ojeda del Ayuntamiento de Palma (Mallorca) y a Xavier Cardona del Ayuntamiento de Ciutadella (Menorca), por facilitarnos la visita y recogida de muestras en los acopios municipales. Agradecemos al Dr. Lluís Gómez-Pujol sus sugerencias en la representación gráfica de los resultados. Así mismo agradecemos las correcciones y sugerencias realizadas por los dos revisores anónimos del manuscrito, y las revisiones finales de la editora de la revista, Beatriz Bádenas.

Referencias

- Ariza, E., Jiménez, J.A., Sardá, R., 2008. Seasonal evolution of beach waste and litter during the bathing season on the Catalan coast. *Waste Management*, 28 (12): 2604-2613.
- Asensi, M., Servera, J., 2004. Aproximació a la quantificació de la pèrdua de sediment de platja amb la retirada mecànica de les bermes vegetals de *Posidonia oceanica*. *IV Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears*. Societat d'Història Natural de les Illes Balears, 88-92.
- Basterretxea, G., Orfila, A., Jordi, A., Fornos, J.J., Tintoré, J., 2007. Evaluation of a small volume renourishment strategy on a narrow Mediterranean beach. *Geomorphology*, 88, 139-151.
- Blair, T.C., McPherson, J.G., 1994. Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes and facies assemblages. *Journal of Sedimentary Research*, 64: 450-489.
- Boudouresque, C.F., 2010. Ne touchez pas aux feuilles de posidonies sur les plages! Posidonies: l'écosystème miracle. *Le Tropézien*, 70: 12-13.
- Boudouresque, C.F., Jeudy de Grissac, A., 1983. L'herbier a *Posidonia oceanica* en Méditerranée: les interactions entre la plante et le sédiment. *Journal de Recherche Océanographique*, 8 (2-3): 99-122.
- Boudouresque, C.F., Meinesz, A., 1982. Découverte de l'herbier de *Posidonia*, Parc National de Port-Cros, Parc Naturel Régional de la Corse. *Hyères, Marseille*, 4: 1-79.
- Boudouresque, C.F., Pergent, G., Pergent-Martini, C., Ruitton, S., Thibaut, T., Verlaque, M., 2016. The necromass of the *Posidonia oceanica* seagrass meadow: fate, role, ecosystem services and vulnerability. *Hydrobiologia*, 781: 25-42.
- Boudouresque, C.F., Ponel, P., Astruch, P., Barcelo, A., Blanfuné, A., Geoffroy, D., Thibaut, T., 2017. The high heritage value of the Me-

- diterranean sandy beaches, with a particular focus on the *Posidonia oceanica* “banquettes”: a review. *Scientific Reports of the Port-Cros national park*, 31: 23-70.
- Brown, A., McLachlan, A., 1990. *Ecology of sandy shores*. Elsevier, Hardbound. Academic Press, 392 p.
- Campbell, D.J., Henshall, J.K., 1991. Bulk Density. En: *Soil Analysis, Physical Methods*, (K.A. Smith, C.E. Mullins, Eds). Marcell Dekker, New York, 329-366.
- Cantasano, N., 2011. Management plan for the beach-cast seagrass in Calabria. En: *Marine Research at CNR*, (National Research Council of Italy, Ed). Department of Earth and Environment, National Research Council of Italy, Rome, 1173-1182.
- Cardona, L., García, M., 2008. Beach-cast seagrass material fertilizes the foredune vegetation of Mediterranean coastal dunes. *Acta Oecologica*, 34: 97-103.
- Carter, R.W., 1988. *Coastal environments, an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastal lines*. Academic Press, London, 617 p.
- Chesa, L.A., Fustier, V., Fernández, C., Mura, F., Pais, A., Pergent, G., Serra, S., Vitale, L., 2000. Contribution to the knowledge of “banquettes” of *Posidonia oceanica* (L) Delile in Sardinia Island. *Biologia Marina Mediterranea*, 7 (2): 35-38.
- Cowell, P.J., Thon, B.G. 1994. Morphodynamics of coastal evolution. En: *Coastal Evolution: Late Quaternary Shoreline Morphodynamics*, (R.W.G. Carter, C.D. Woodroffe, Eds). Cambridge University Press, Cambridge, 33-86.
- Ibarra, D., Gomariz, F., Triviño, A.P., Martínez, J., Belmonte, F., 2017. El impacto del estado de conservación de la *Posidonia oceanica* en la erosión costera: el caso de las playas de l'Almadrava y Amerador (El Campello, Alicante). *Geo-Temas*, 17: 91-94.
- De Falco, G., Baroli, D., Simeone, S., Piergallini, G., 2002. La rimozione de la *Posidonia* della spiaggia: conseguenze sulla stabilità dei litorali. *Fondazione IMC-Centro Marine Internazionale-Onlus*, Oristano, 19 p.
- De Falco, G., Simeone, S., Baroli, M., 2008. Management of beach-cast *Posidonia oceanica* seagrass on the island of Sardinia (Italy, Western Mediterranean). *Journal of Coastal Research*, 24: 69-75.
- De Vecchio, S., Marbà, N., Acosta, A., Vignolo, C., Traveset, A., 2013. Effects of *Posidonia oceanica* Beach-Cast on germination, growth and nutrient uptake of coastal dune plants. *PLoS ONE*, 8 (7): 70607.
- Duarte, C.M., 2004. Las praderas de Fanerógamas marinas. El papel de las praderas en la dinámica costera. En: *Praderas y bosques marinos de Andalucía*, (A.A. Luque, J. Templado, Eds). Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, 81-85.
- Elginöz, E., Kaldasli, M.S., Tanik, A., 2011. Effects of *Posidonia Oceanica* Seagrass Meadows on Storm Waves. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 64: 373-377.
- Fornós, J.J., Ahr, W.M., 1997. Temperate carbonates on a modern, low-energy, isolated ramp, the Balearic Platform, Spain. *Journal Sediment Research*, 67: 364-373.
- Fornós, J.J., Ahr, W.M., 2006. Present-day temperate carbonate sedimentation on the Balearic Platform, western Mediterranean: compositional and textural variation along a low-energy isolated ramp. En: *Cool-water Carbonates: Depositional Systems and Palaeoenvironmental Controls*, (H.M. Pedley, G. Carannante, Eds). Geological Society Special Publications, 255: 121-135.
- Gaglianone, G., Brandano, M., Mateu-Vicens, G., 2017. The sedimentary facies of *Posidonia oceanica* seagrass meadows from the central Mediterranean Sea. *Facies*, 63: 28.
- Gheskiere, T., Magda, V., Greet, P., Steven, D., 2006. Are strandline meiofaunal assemblages affected by a once-only mechanical beach cleaning? Experimental findings. *Marine Environmental Research*, 61: 245-264.
- Gómez-Pujol, L., Roig, F.X., Fornós, J.J., Balaguer, P., Mateu, J., 2013a. Provenance-related characteristics of beach sediments around the island of Menorca (Balearic Islands, western Mediterranean). *Geo-Marine Letters*, 33: 195-208.
- Gómez-Pujol, L., Orfila, A., Álvarez-Ellacuría, A., Terrados, J., Tintoré, J., 2013b. *Posidonia oceanica* beach-cast litter in Mediterranean beaches: a coastal videomonitoring study. *Journal Coastal Research*, 65: 1768-1773.
- Guala, I., Simeone, S., Buia, M.C., Flagella, S., Baroli, M., De Falco, G., 2006. *Posidonia oceanica* ‘banquette’ removal: environmental impact and management implications. *Biologia Marina Mediterranea*, 13(4): 149-153.
- Guillén, J.E., Martínez, J., Triviño, A., Soler, G., 2013. Preliminary study of the management of *Posidonia oceanica* banquettes in Spanish coastal beaches. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 40: 807.
- Guillén, J., Martínez-Vidal, J., Triviño, A., Soler, G., Fages, E., Giro-nés, S., Martínez-Carbonell, M., Santos, L., Puglia, D., Torre, E., 2014. *Guia de buenas prácticas para la gestión, recogida y tratamiento de los arribazones de algas y plantas marines en las Costas*. Ed. Instituto de Ecología Litoral, Alicante, 24 p.
- Hemminga, M.A., Nieuwenhuize, J., 1990. Seagrass wrack-induced dune formation on a tropical coast (Banc d'Arguin, Mauritania). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 31: 499-502.
- Hesp, P.A., 2002. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology, and dynamics. *Geomorphology*, 48 (1-3): 245-268.
- Infantes, E., Terrados, J., Orfila, A., Cañellas, B., Álvarez-Ellacuría, A., 2009. Wave energy and the upper depth limit distribution of *Posidonia oceanica*. *Botanica Marina*, 52 (5): 419-427.
- Infantes, E., Orfila, A., Simarro, G., Terrados, J., Luhar, M., Nepf, H., 2012. Effect of a seagrass (*Posidonia oceanica*) meadow on wave propagation. *Marine Ecology Progress Series*, 456: 63-72.
- ISPRA, 2010. Formazione e gestione delle banquettes di *Posidonia oceanica* sugli arenili. *Manuali e linee guida*, 55 p.
- Jeudy de Grissac, A., Audoly, G., 1985. Etude préliminaire des banquettes de feuilles mortes de *Posidonia oceanica* dans la région de Marseille (France). *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, 29 (5): 181-182.
- Jiménez, M.A., Beltrán, R., Traveset, A., Calleja, M.L., Delgado-Huertas, A., Marbà, N., 2017. Aeolian transport of seagrass (*Posidonia oceanica*) beach-cast to terrestrial systems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 116: 31-47.
- Komar, P.D., 1999. Coastal Changes Scales, of processes and dimension of problems. En: *Coastal sediments, Proceeding of 4th International Symposium on Coastal Engineering and Science of Coastal Sediment Processes*, (N.C. Kraus, W.G. McDougal, Eds). American Society of Civil Engineers Washington D.C., 1: 1-17.
- Llewellyn, P.J., Shackley, S.E., 1996. The effects of mechanical beach cleaning on invertebrate populations. *British Wildlife*, 7: 147-155.
- Manca, E., Cáceres, I., Alsina, J.M., Stratigaki, V., Townend, I., Amos, C.L., 2012. Wave energy and wave-induced flow reduction by full-scale model *Posidonia oceanica* seagrass. *Continental Shelf Research*, 50-51: 100-116.
- Manca, E., Pascucci, V., Deluca, M., Cossu, A., Andreucci, S., 2013. Shoreline evolution related to coastal development of a managed beach in Alghero, Sardinia, Italy. *Ocean and Coastal Management*, 85: 65-76.
- Marbà, N., Duarte, C.M., 2010. Mediterranean warming triggers seagrass (*Posidonia oceanica*) shoot mortality. *Global Change Biology*, 16: 2366-2375.
- Martín Prieto, J.A., Roig Munar, F.X., Rodríguez Perea, A., Mir Gual, M., Pons Buades, G.X., Gelabert Ferrer, B., 2016. La erosión histórica de la playa de sa Ràpita (S. Mallorca). *Investigaciones Geográficas*, 66: 135-154.

- Martín Prieto, J.A., Roig Munar, F.X., Rodríguez Perea, A., Pons Bua-
des, G.X., Mir Gual, M., Gelabert Ferrer, B., 2018. Análisis de la
evolución histórica de la línea de costa de la playa de es Trenc (S.
de Mallorca): causas y consecuencias. *GeoFocus*, 21: 187-214.
- Mateo, M.A., Romero, J., Pérez, M., Littler, M.M., Littler, D.S.,
1997. Dynamics of millenary organic deposits resulting from the
growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Es-
tuarine, Coastal and Shelf Science*, 44: 103-110.
- Mateo, M.A., Sánchez-Lizaso, J.L., Romero, J., 2003. *Posidonia*
oceanica 'banquettes': a preliminary assessment of the relevance
for meadow carbon and nutrient budget. *Estuarine, Coastal and*
Shelf Science, 56: 85-90.
- Mateu-Vicens, G., Brandano, M., Gaglianone, G., Baldassarre, A., 2012.
Seagrass-meadow sedimentary facies in a mixed siliciclastic carbo-
nate temperate system in the Tyrrhenian Sea (Pontinian islands, wes-
tern Mediterranean). *Journal of Sedimentary Research*, 82: 451-463.
- Medina, J.R., Tintoré, J., Duarte, C., 2001. Las praderas de *Posido-
nia oceanica* y la regeneración de playas. *Revista de Obras Pú-
blicas*, 3.409: 31-43.
- Mossone, P., Guala, I., Heurtefeux, H., Giunta Fornasin, M.E., Issa-
ris, Y., Gerakaris, V., Salomidi, M., Milano, P., Guido, M., Mar-
ciano, V., Otero, M.M., Aljinovic, B., Simeone, S., 2018.
POSBEMED: *Posidonia* beach/dunes socio-economic evalua-
tion. *Final Report, IMC Foundation - International Marine Cen-
tre, Technical report 2*, 70 p. + Annexes.
- Ochieng, C.A., Erftemeijer, P.L., 1999. Accumulation of seagrass
beach cast along the Kenyan coast: a quantitative analysis. *Aqua-
tic Botany*, 65: 221-238.
- Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Pergent, G., 1997. Mediterra-
nean coastal resource management: the example of the Island of
Corsica. *Proceedings of the Fourth International Conference: re-
mote Sensing for Marine and Coastal Environments, Technology*
and Applications, Orlando, Florida, 1: 632-640.
- Provincia di Livorno, 2006. Progetto Posidonia. Linee. *Guida Ges-
tione Integrata della Posidonia oceanica*, 32 p.
- Ramos, A., Tello, O., 2015. Ecología y extensión de las praderas
marinas. En: *Atlas de las praderas marinas de España*, (J.M.
Ruiz, J.E. Guillén, A. Ramos Segura, M.M. Otero, Eds).
IEO/IEL/UICN, Murcia-Alicante-Málaga, 53-62.
- Rodríguez-Perea, A., Servera, J., Martín-Prieto, J.Á., 2000. Alterna-
tives a la dependència de les platges de les Balears de la regene-
ració artificial: Informe Metadona. *Universitat de les Illes*
Balears, Col.lecció Pedagogia Ambiental, núm. 10.
- Roig-Munar, F.X., 2004. Análisis y consecuencias de la modifica-
ción artificial del perfil playa-duna por el efecto mecánico de su
limpieza. *Investigaciones geográficas*, 33: 87-103.
- Roig-Munar, F.X., Comas Lamarca, E., 2005. Propuesta de un mo-
delo de clasificación para las playas de las islas Baleares me-
diante el análisis de variables de uso, estado y gestión. *Boletín*
de la Asociación de Geógrafos Españoles, 40: 429-448.
- Roig-Munar, F.X., Prieto, J.Á., 2005. Efectos de la retirada de ber-
mas vegetales de *Posidonia oceanica* sobre playas de las islas
Baleares: consecuencias de la presión turística. *Investigaciones*
Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, 57: 40-52.
- Roig-Munar, F.X., Comas Lamarca, E., Rodríguez-Perea, A., Martín
Prieto, J.A., 2005. Management of Beaches on the Island of Me-
norca (Balearic Islands): The Tension between Tourism and Con-
servation. *Journal Coastal Research*, SI 49: 89-93.
- Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.Á., Rodríguez-Perea, A., Pons,
G.X., 2006. Valoración geoambiental y económica de diferen-
tes técnicas de gestión de playas. *Geomorfología y territorio:*
actas de la IX Reunión Nacional de Geomorfología, Santiago
de Compostela, 457-472.
- Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.Á., Rodríguez-Perea, A., Pons,
G.X., 2007. Cuantificación del contenido sedimentario de los res-
tos de *Posidonia oceanica* en playas y foredunes de Menorca.
En: *Investigaciones recientes (2005-2007) en Geomorfología li-
toral*, (Ll. Gómez-Pujol, J.J. Fornós, Eds), 89-93.
- Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.Á., Mir, M., Pons, G.X., Rodrí-
guez, A., 2011. Balance sedimentario negativo por la retirada de
Posidonia oceanica de las playas de Ibiza (Islas Baleares). *Avan-
ces en Geomorfología Litoral, Actas de las VI Jornadas de Ge-
omorfología Litoral, Tarragona*, 79-83.
- Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.Á., Rodríguez-Perea, A., Balaguer,
P., 2017. Gestión litoral en Menorca: un modelo basado en criterios
geomorfológicos. En: *Geomorfología litoral de Menorca: dinámica,*
evolución y prácticas de gestión, (Ll. Gómez-Pujol, G.X. Pons, Eds).
Monografía Societat Historia Natural Balears, 25: 191-212.
- Roig-Munar, F.X., Martín Prieto, J.Á., Pintó, J., Rodríguez-Perea,
A., Gelabert, B., 2018. Coastal management in the Balearic Is-
lands. En: *The Spanish coastal systems. Dynamic processes, Se-
diments and Management*, (J.A. Morales, Ed). Springer, 765-787.
- Sánchez-González, J.F., Sánchez-Rojas, V., Memos, C.D., 2011.
Wave attenuation due to *Posidonia oceanica* meadows. *Journal*
of Hydraulic Research, 49: 503-514.
- Servera, J., Martín-Prieto, J.Á., 1996. Análisis y causa del retroceso de
línea de costa el arenal de Sa Ràpita, Mallorca. *IV Reunión de Geo-
morfología, A Coruña*, 877-890.
- Servera, J., 1997. Els sistemes dunars litorals de les Illes Balears.
Tesis doctoral, Universitat de les Illes Balears, 904 p.
- Servera, J., Martín-Prieto, J.Á., Rodríguez-Perea, A., 2002. Forma y
dinámica de les acumulacions de fulles de *Posidonia oceanica*. El seu
paper com a protector de la platja subaèria. *III Jornades de Medi*
Ambient de les Illes Balears, libro de ponencias y resúmenes, 91-93.
- Simeone, S., 2008. *Posidonia oceanica* banquettes removal: sedi-
mentològic al, geomorphological and ecological implications.
Tesis doctoral, Univ. degli Studi di Viterbo, Italy, 127 p.
- Simeone, S., de Falco, G., 2012. Morphology and composition of
beach-cast *Posidonia oceanica* litter on beaches with different
exposures. *Geomorphology*, 151: 224-233.
- Simeone, S., de Falco, G., 2013. *Posidonia oceanica* banquette re-
moval: sedimentological, geomorphological and ecological im-
plications. *Journal of Coastal Research*, 65: 1045-1050.
- Simeone, S., De Muro, S., De Falco, G., 2013. Seagrass berm de-
position on a Mediterranean embayed beach. *Estuarine, Coastal*
Shelf Science, 135: 171-181.
- Vacchi, M., de Falco, G., Simeone, S., Montefalcone, M., Morr, I.C.,
Ferrari, M., Bianchi, C.N., 2017. Biogeomorphology of the Me-
diterranean *Posidonia oceanica* meadows. *Earth Surface Pro-
cesses and Landforms*, 42 (1): 42-54.
- Vassallo, P., Paoli, C., Rovere, A., Montefalcone, M., Morri, C., Bian-
chi, C.N., 2013. The value of the seagrass *Posidonia oceanica*: a
natural capital assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 75: 157-167.
- Viroit, C., 2012. Mise en perspective d'une politique de préservation
du patrimoine naturel corse au regard des principes du développe-
ment durable: Les banquettes de *Posidonie* sur les plages de la Ré-
serve Naturelle des Bouches de Bonifacio. Master II *Politiques*
Environnementales et Développement Durable, Institut Catholi-
que de Paris, 172 p.
- Yepes, V., Medina, J.R., 2007. Gestión de playas encajadas de uso
intensivo. *Actas de las IX Jornadas Españolas de Ingeniería de*
Costas y Puertos, 297-304.

MANUSCRITO RECIBIDO EL: 29-5-2019

RECIBIDA LA REVISIÓN EL: 23-8-2019

ACEPTADO EL MANUSCRITO REVISADO EL: 4-9-2019