
**XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica
25, 26 y 27 de Junio de 2014. Alicante.**

**Cartografía de praderas de *Posidonia oceanica* en el litoral
valenciano a partir de imágenes SPOT-5**

Francisco Miguel Candelas Pérez^a, María José López García^{a*}

^a*Departament de Geografia, Universitat de València*

Resumen

Posidonia oceanica es la fanerógama marina (planta superior) dominante en el Mar Mediterráneo y forma praderas submarinas que colonizan los fondos arenosos hasta unos 40 m de profundidad. Esta planta endémica desempeña funciones muy importantes en los ambientes marinos mediterráneos. Dichas características, junto con las amenazas a las que está sometida, determinan que éste sea un hábitat prioritario en cuanto a protección y, por ello, figura en el anexo I de la Directiva Hábitats (92/43/CEE). La fragilidad de estos ecosistemas marinos y la rápida regresión que han sufrido en los últimos años obligan a una monitorización y evaluación continua, ya que presentan un crecimiento muy lento, lo que magnifica su vulnerabilidad.

El uso de sensores pasivos para el muestreo de praderas de *Posidonia*, junto con las técnicas de observación tradicionales, permite la cartografía de grandes extensiones litorales de forma rápida y económica. Trabajos recientes demuestran la viabilidad de las imágenes espaciales, si bien este método no se ha usado muy profusamente en el área mediterránea. El presente estudio tiene como objetivo el diseño de una metodología para la cartografía de *Posidonia* utilizando técnicas de clasificación digital de imágenes SPOT-5 de 2006 y 2010. Dicha metodología ha sido testada en dos zonas del litoral valenciano: El Portet (Moraira) y la bahía de Altea, alcanzando precisiones superiores al 78 % y llegando a discriminar 3 categorías temáticas hasta los 15 m de profundidad. La metodología presentada ha permitido la obtención de una

* E-mail: maria.j.lopez@uv.es

cartografía de *Posidonia*, que complementa la ya disponible, posibilitando un mejor conocimiento de las comunidades bentónicas.

Palabras clave: *Posidonia oceanica*; cartografía de fondos litorales; SPOT; clasificación digital; fanerógamas marinas; teledetección

1. Introducción

Las praderas de fanerógamas forman uno de los hábitats costeros más ricos e importantes del océano. En el Mar Mediterráneo existen cinco especies de fanerógamas marinas, de las cuales *Posidonia oceanica* es la única endémica, la que alcanza un mayor porte y la más ampliamente distribuida. Forma praderas submarinas de gran extensión y densidad, creando el ecosistema más importante y complejo del litoral mediterráneo. Su importancia principal radica en los servicios ambientales que presta al medio marino litoral, entre los que destacan (Díaz y Marbà, 2009; Sánchez-Lizaso, 1995; VV.AA., 2012):

- Conforman un hábitat de gran biodiversidad de especies animales y vegetales, algunas de ellas en peligro de extinción.
- Son el principal productor primario del Mar Mediterráneo.
- Representan una de las mayores fuentes de oxigenación de nuestras costas y suponen un sumidero muy importante de CO₂, el cual es responsable del efecto invernadero y el cambio climático.
- Estabilizan los fondos arenosos costeros, fijando la arena y disipando la energía del oleaje, atenuando el efecto del hidrodinamismo sobre la zona litoral.

En la actualidad, las praderas de *Posidonia oceanica* se encuentran en regresión en todo el Mediterráneo (Riedl, 1986; WWF/Adena, 2000). Algunos estudios (Marbà *et al.*, 1996; WWF/Adena, 2000) señalan que la mayoría de las praderas del litoral español están sufriendo una disminución en la densidad de haces debido a la acción antrópica. Esta regresión se evidencia especialmente en torno a las zonas costeras urbanizadas, ya que las actividades humanas provocan la eutrofización de las aguas y el aumento de partículas en suspensión, reduciendo la transparencia del agua y la energía lumínica disponible para la planta (Hofrichter, 2004; Ruipérez *et al.*, 2012). Además, la construcción de espigones, puertos, rompeolas y la regeneración de playas destruye directamente la pradera o modifica las características ambientales (hidrodinamismo, turbidez, sedimentación, etc.) provocando indirectamente su regresión. A ello cabe añadir, en ocasiones, los efectos de la pesca de arrastre ilegal, el fondeo de embarcaciones, las prácticas de acuicultura cercanas a las praderas y la introducción de especies exóticas invasoras (WWF/Adena, 2000; Ruipérez *et al.*, 2012). Debido al lento crecimiento de esta fanerógama marina, los daños causados son prácticamente irreversibles, ya que una pradera que retrocede tarda muchos siglos en recuperarse.

La importancia medioambiental de las praderas junto con las amenazas a las que está sometida determinan que sea un hábitat prioritario en cuanto a protección y aparece, por ello, en el anexo I de la Directiva Hábitats (92/43/CEE), amén de otras figuras de protección nacionales y regionales (Díaz y Marbà, 2009). La gestión y protección de estos hábitats requieren medidas de monitoreo y una adecuada cartografía que ayude al conocimiento de su estado de conservación y evolución (Díaz y Marbà, 2009; Fornés *et al.*, 2006; Matarrese *et al.*, 2008; Pasqualini *et al.*, 2001 y 2005). La metodología utilizada para la cartografía de *Posidonia oceanica* por métodos convencionales es lenta y a menudo complicada (Belsher *et al.*, 1988) por lo que la teledetección, por la visión sinóptica de amplias zonas y la disponibilidad de series continuas de imágenes, se presenta como una metodología complementaria rápida y económica.

En el Mediterráneo existen varios estudios que utilizan sensores pasivos para el muestreo de praderas de *Posidonia oceanica* (Belsher *et al.*, 1988; Matarrese *et al.*, 2008; Pasqualini *et al.*, 2001 y 2005), algunos centrados en el litoral español (Fornés *et al.*, 2006; Méndez *et al.*, 2011). La mayoría se desarrollan en aguas

insulares, mientras que solamente dos lo hacen en aguas costeras del continente. El primer estudio publicado fue el de Belsher *et al.* (1988) quienes realizaron una simulación de imágenes SPOT usando un sensor aerotransportado, permitiendo la obtención de datos equivalentes previos al lanzamiento de dicho satélite en febrero de 1986. Pero no fue hasta 2005 cuando se publicó el primer trabajo basado en imágenes de satélite sensu stricto, llevado a cabo por Pasqualini *et al.* en la bahía de Laganas (Zakynthos) en Grecia. En general, los diferentes estudios utilizan sensores de alta resolución espacial (e.g. IKONOS, 4 m) y espectral (e.g. CHRIS-Proba, 18 bandas en el rango visible). A partir de las imágenes analizadas se obtienen resultados con una precisión del 61 – 96 %, consiguiendo la discriminación de 7 a 4 categorías temáticas, respectivamente.

El objetivo del presente trabajo es explorar las posibilidades de aplicación de las técnicas de teledetección para la cartografía de las praderas de *Posidonia oceanica* en el litoral valenciano, ya que no existen estudios previos en aguas valencianas que utilicen la teledetección para la cartografía de sus comunidades bentónicas. El análisis trata de establecer la metodología más adecuada para la discriminación de distintas categorías temáticas, así como valorar el nivel de precisión obtenido en la cartografía mediante este sensor.

2. Metodología

Para llevar a cabo el presente trabajo se han seleccionado dos sectores del SE de la Comunidad Valenciana (Figura 1), donde las praderas de *Posidonia oceanica* presentan la mayor extensión, densidad y cobertura del litoral peninsular (Guillén *et al.*, 2013; Marbà *et al.*, 1996). Los lugares elegidos han sido El Portet (Moraira) y la bahía de Altea, en los que las praderas se extienden hasta los 25– 30 m de profundidad.



Fig. 1. Localización de las zonas de estudio.

El estudio dispone de datos de campo para contrastar los análisis realizados, proporcionados por HIDTMA-ECOMAR SL que cedió la información batimétrica y bionómica generada en la ecocartografía llevada a cabo en 2006 en la costa alicantina, dentro del Plan de Ecocartografías del litoral español realizado por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar, perteneciente al MAGRAMA (www.ecocartografias.com). Todos los datos se han integrado, junto con ortofotos del PNOA de máxima actualidad del CNIG, en un SIG (ArcMap 9.2 y 10.1) para su representación, interpretación y tratamiento. Además, los autores realizaron una campaña de muestreo en 2013 para complementar la información disponible. La realización de transectos sistemáticos mediante buceo en apnea demostró que se puede usar la cartografía de 2006 como referencia actual, ya que no se ha producido la desaparición de ninguna de las praderas.

El trabajo se ha desarrollado utilizando imágenes SPOT-5 proporcionadas por el IGN, a través del Plan Nacional de Teledetección (PNT). Se emplearon las bandas del rango espectral visible y el IR cercano, i.e. la banda pancromática y las bandas multiespectrales 1, 2 y 3. Se realizó una búsqueda de imágenes disponibles dentro del PNT para seleccionar aquellas que coincidieran con las campañas de campo con el fin de disponer de datos verdad-terreno para el análisis, clasificación y posterior validación de las mismas. Dado que las campañas de campo se realizaron en mayo-julio de 2006 y septiembre de 2013, respectivamente, se seleccionaron imágenes tomadas en verano, ya que es la época de mayor desarrollo de las fanerógamas marinas estudiadas. Para la campaña de 2006 se pudo disponer de una imagen del 29/08/2006. Sin embargo, no se pudo disponer de imágenes SPOT coincidentes con el muestreo de 2013, por lo que se utilizó la imagen de verano disponible más reciente, correspondiente al 19/07/2010. En este caso, se asume que las praderas existentes en 2006 y 2013, aparecerán igualmente en la imagen de 2010.

La metodología empleada para la cartografía de Posidonia son las técnicas de clasificación digital a partir de imágenes multiespectrales. Esta técnica ha sido utilizada con éxito en otras zonas del Mediterráneo (Belsher *et al.*, 1988; Fornés *et al.*, 2006; Matarrese *et al.*, 2008; Méndez *et al.*, 2011; Pasqualini *et al.*, 2001 y 2005), por lo que se ha adoptado como la metodología más idónea, tratando de determinar cuál es el clasificador que presenta mejores resultados en nuestra zona de estudio. Como paso previo a la clasificación, las imágenes se corrigieron geoméricamente y se creó una máscara de tierra para evitar la interferencia de dichos píxeles en la clasificación. Todos los tratamientos de imagen se realizaron mediante el software Idrisi Taiga.

La escena SPOT de 2006 ha sido utilizada para el diseño de la metodología, ya que, coincide temporalmente con la campaña de campo, y la imagen de 2010 para confirmar la validez del método. Se han aplicado diferentes estadísticos en la clasificación (mínima distancia, máxima probabilidad, paralelepípedos y KNN) para determinar el procedimiento más adecuado. Todas las imágenes generadas son sometidas a un proceso de filtrado (filtro de moda con una matriz kernel de 5x5). Además, se utilizan máscaras batimétricas a 15 y 20 m de profundidad para determinar el rango óptimo de cartografía, ya que el efecto de la profundidad del agua condiciona la teledetección del bentos marino, disminuyendo la precisión a medida que se incrementa la batimetría. La validez de la cartografía obtenida se ha estimado mediante la comparación con los datos verdad-terreno a partir de un muestreo del 3 % de la bahía de Altea y el 10 % de El Portet, utilizado como indicadores de calidad la precisión total (%) y el valor del índice de *Kappa*.

3. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos para la imagen de 2006 determinan la idoneidad del estadístico de mínima distancia para la clasificación de la zona de estudio de El Portet y el de máxima probabilidad para la bahía de Altea. La figura 2 muestra los mapas obtenidos en cada una de las zonas. El Portet tiene una baja complejidad temática (*Posidonia* y sustrato), no presentando solapamiento entre las respuestas espectrales de ambas; por ello, el estadístico de mínima distancia ofrece los mejores resultados, ya que el algoritmo en el que está

basado es el más adecuado en estas circunstancias. En la bahía de Altea existen tres clases temáticas (*Posidonia*, *Cymodocea* y sustrato), existiendo solapamiento entre las respuestas espectrales de la *Posidonia* y la *Cymodocea*, lo cual ha sido bien resuelto por el clasificador de máxima probabilidad.

La aplicación de máscaras batimétricas a distintas profundidades ha permitido determinar el nivel de precisión y las limitaciones de la cartografía según la profundidad. La tabla 1 muestra las precisiones totales alcanzadas antes y después de la aplicación de la máscara batimétrica de 15 m para la clasificación de la imagen de 2006 y 2010 en ambas zonas de estudio.

La máscara de 15 m presenta los mejores resultados, indicando que el método para la detección de *Posidonia* es óptimo a profundidades inferiores a 15 m, alcanzándose precisiones superiores al 95 % en el Portet y en torno al 80 % en la Bahía de Altea. Aunque el valor del índice *Kappa* es, en general, bajo, Gilmore Pontius Jr. *et al.* (2011) han destacado recientemente las limitaciones de este estadístico para estimar el grado de acuerdo de la clasificación con la realidad.

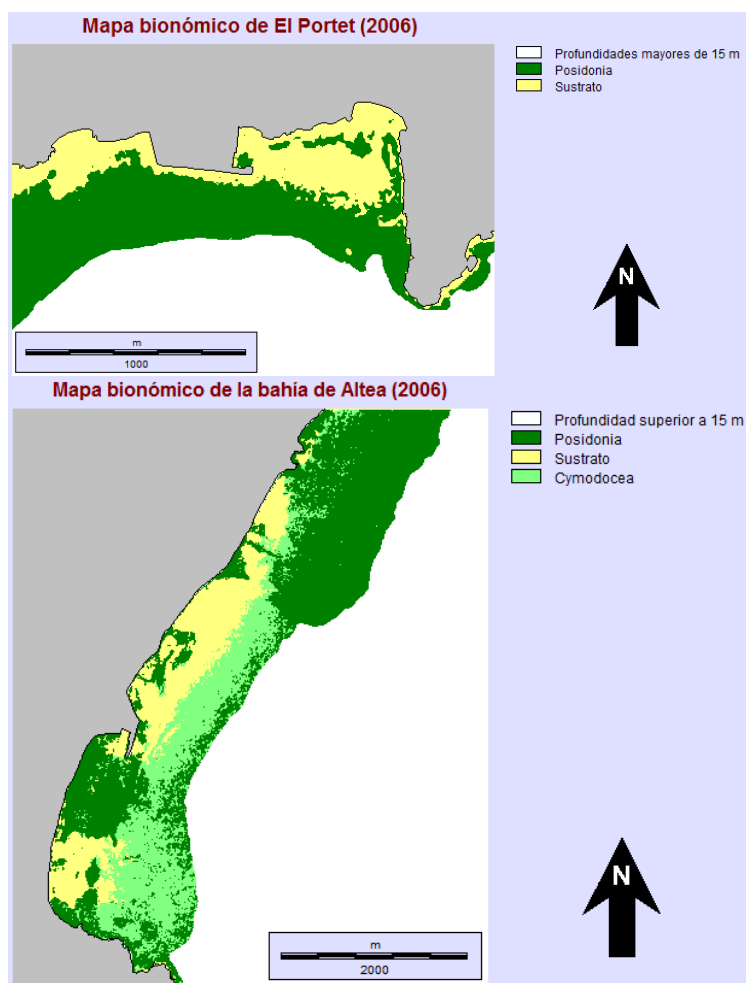


Fig. 2. Mapas de El Portet (superior) y la bahía de Altea (inferior) de 2006.

Tabla 1. Nivel de precisión obtenido (% y *Kappa*) en la cartografía de *Posidonia* a partir de imágenes SPOT

Zona de estudio y clasificador	2006		2010
	Imagen previa	Máscara batimétrica 15 m	Máscara batimétrica 15 m
El Portet (Mínima distancia)	77/0,06	98/0,74	97/0,36
Bahía de Altea (Máxima probabilidad)	71/0,18	78/0,18	81/0,49

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que las imágenes SPOT y las técnicas de clasificación son adecuadas para la cartografía de praderas de *Posidonia* en el litoral valenciano obteniendo buenos resultados para profundidades inferiores a 15 m, lo que posibilita un mejor conocimiento de las comunidades bentónicas. El análisis realizado indica que es posible detectar hasta tres categorías temáticas (*Posidonia*, *Cymodocea* y sustrato) con un nivel de precisión en torno al 80%. La cartografía de este tipo de comunidades es lenta y a menudo complicada usando otras técnicas convencionales, por lo que la combinación de todas las metodologías disponibles se presenta necesaria para alcanzar un objetivo común en la gestión y conservación del medio litoral.

Agradecimientos

Manifestamos nuestro reconocimiento al MAGRAMA y a HIDTMA-ECOMAR SL, en especial a su jefe de proyectos Gilberto Diosdado, por ceder las capas de SIG de la ecocartografía realizada durante los años 2006-2007 en el litoral valenciano. Igualmente, agradecemos al IGN (PNT) la cesión de las imágenes SPOT.

Referencias

- Díaz, E. y Marbà, N. (2009). 1120 *Posidonion oceanicae*. Praderas de *Posidonia oceanica* (*). En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 129 pp.
- Sánchez-Lizaso, J.L. (1995). Estudio de la pradera de *Posidonia oceanica* (L.) Delile de la Reserva Marina de Tabarca (Alicante): Fenología y producción primaria. *Tesis doctoral*. Universidad de Alicante. 131 pp.
- VV.AA. (2012). *Guía interpretativa: Inventario español de hábitats marinos*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 231 pp.
- Riedl, R. (1986). *Fauna y Flora del Mar Mediterráneo*. Ed. Omega, Barcelona. 858 pp.
- WWF/Adena (2000). *Las praderas de Posidonia: importancia y conservación (Propuesta de WWF/Adena)*, Madrid: WWF/Adena. 32 pp.
- Marbà, N., Duarte, C.M., Cebrián, J., Gallegos, M.E., Olesen, B. y Sand-Jensen, K. (1996). Growth and population dynamics of *Posidonia oceanica* on the Spanish Mediterranean coast: elucidating seagrass decline. *Marine Ecology Progress Series* Vol. 137: 203 – 213.
- Hofrichter, R. (2004). *El Mar Mediterráneo: Fauna, Flora, Ecología*. Volumen I (Parte General). Ed. Omega, Barcelona. 592 pp.
- Ruipérez, M., Salazar, J.M., Alarcón, D., Verborgh, P., Meizoso, M.J. y De Stephanis, R. (2012). *Posidonia en tus manos. Guía didáctica sobre las praderas de Posidonia oceanica*. Proyecto LIFE09 NAT/ES/000534, Ed. CIRCE, Algeciras. 260 pp.
- Fornés, A., Basterretxea, G., Orfila, A., Jordi, A., Álvarez, A. y Tintoré, J. (2006). Mapping *Posidonia oceanica* from IKONOS. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing* Vol. 60: 315 – 322.
- Matarrese, R., Acquaro, M., Morea, A., Tijani, K. y Chiaradia, M.T. (2008). Applications of remote sensing techniques for mapping *Posidonia oceanica* meadows. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium 4*: 906 – 909.

- Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Clabaut, P., Marteel, H. y Pergent, G. (2001). Integration of aerial remote sensing, photogrammetry, and GIS technologies in seagrass mapping. *Photogrammetric Engineering & Remote sensing* Vol. 67 (1): 99 – 105.
- Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Pergent, G., Agreil, M., Skoufas, G., Sourbes, L. y Tsirika, A. (2005). Use of SPOT 5 for mapping seagrasses: an application to *Posidonia oceanica*. *Remote sensing of environment* Vol. 94: 39 – 45.
- Belsher, T., Meinesz, A., Lefevre, J.R. y Boudouresque, C.F. (1988). Simulation of SPOT satellite imagery for charting shallow-water benthic communities in the Mediterranean. *Marine Ecology* Vol. 9 (2): 157 – 165.
- Méndez, E., Cabello, A., Frieyro, J.E., Hayas, A., Granado, L., Montoya, G., Pino, I. y Domínguez, J.A. (2011). Desarrollo de una metodología para la caracterización de praderas de fanerógamas marinas en el litoral andaluz mediante técnicas de teledetección con sensores hiperespectrales. *Revista de Teledetección* Vol. 36: 73 – 83.
- Guillén, J.E., Sánchez-Lizaso, J.L., Jiménez, S., Martínez, J., Codina, A., Montero, M., Triviño, A., Soler, G. y Zubcoff, J.J. (2013). Evolution of *Posidonia oceanica* seagrass meadows and its implications for management. *Journal of Sea Research*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2013.04.012>
www.ecocartografias.com (MAGRAMA)
- Gilmore Pontius Jr., R. y Millones, M. (2011). Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 32 (15): 4.407 – 4.429, doi:10.1080/01431161.2011.552923