

## CARTOGRAFÍA DE PRADERAS DE FANERÓGAMAS MARINAS EN EL MEDITERRÁNEO MEDIANTE SENSORES HIPERESPECTRALES

A. Cabello (\*), J.E. Frieyro (\*), L. Granado (\*), A. Hayas (\*), E. Méndez (\*), G. Montoya (\*), I. Pino (\*)  
y J. A. Domínguez (\*\*).

(\* )EGMASA, Dpto. de Comunicación y Sistemas de Información y Unidad de I+D+i.  
Johan G. Gutenberg, I. 41092, Sevilla. jfrieyro@egmasa.es  
(\*\* )Consultor externo. C/ Bolívar, 17 F 3º D 28045, Madrid.

### RESUMEN

Las praderas de fanerógamas marinas forman parte de uno de los ecosistemas más importantes en la ecología y economía del litoral Mediterráneo. Aunque se distribuyen ampliamente, actualmente se encuentran en regresión. Uno de los problemas más relevantes para el seguimiento de este ecosistema es la falta de una cartografía en detalle. El objeto de este estudio es por tanto cartografiar estas praderas. Para alcanzar el objetivo se realiza una exhaustiva radiometría de campo (alrededor de 60 puntos de muestreo) en dos años diferentes, de las distintas especies de fanerógamas marinas que protagonizan las praderas en la zona de estudio: *Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa*. Además de las especies de interés, en el muestreo se consideran otras variables tales como: sustratos, profundidades, densidades y cobertura de la pradera. Para obtener una imagen de reflectancia de fondo se caracteriza la columna de agua mediante un modelo de transferencia radiativa determinando el coeficiente de atenuación difusa (Kd) mediante medidas de irradiancia descendente (Ed) e irradiancia ascendente (Eu). A partir de esta reflectancia de fondo se clasifican las imágenes obteniendo una cartografía de las praderas de fanerógamas.

### ABSTRACT

Seagrass beds are part of one of the most important ecosystems when considering the ecology and economy of the Mediterranean coast. Even though they are widely distributed, nowadays they are in regression. One of the most relevant problems for monitoring seagrass beds is the lack of accurate cartography. The aim of this study is mapping these seagrass beds. An exhaustive radiometric field campaign (about 50 sampling points) of the different species of marine phanerogams were surveyed: *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa*. We studied these species on different substrata and at different depths. In order to obtain bottom reflectance images, the water column has been characterized through a radiative transfer model determining the attenuation coefficient (kd) by downwelling irradiance (Ed) and upwelling irradiance (Eu) measurements. The retrieved bottom reflectance is then used to classify the seagrass and to obtain a preliminary cartography.

**Palabras claves:** hiperespectral, fanerógamas marinas, cartografía, coeficiente de atenuación difusa, reflectancia de fondo.

### INTRODUCCIÓN

El proyecto se concreta en la investigación y desarrollo de nuevas metodologías para el tratamiento y análisis de las imágenes hiperespectrales, concretado en una temática medioambiental que por su interés ecológico y las políticas medioambientales vinculadas a ella, merece una atención especial. Esta temática es la conservación y gestión sostenible de las fanerógamas marinas que habitan en el litoral andaluz.

Por sus especiales características, se ha elegido el Parque Natural Marítimo Terrestre de Cabo de Gata- Níjar. La identidad de este espacio se

fundamenta en su carácter semiárido, se trata de uno de los pocos espacios protegidos de Europa de vocación subdesértica y estepárica, y por albergar los 63 Km. de costa acantilada mejor conservados del litoral mediterráneo español. En el medio marino se encuentran las praderas más occidentales de *Posidonia oceanica*, que delimitan las llanuras de arena y fango de los accidentados fondos rocosos de origen volcánico.

Su hábitat suele ser un sustrato arenoso, unas aguas claras, bien oxigenadas, exentas de contaminación y un óptimo de temperatura entre 17°C y 20°C. Las profundidades oscilan desde el límite inferior de la bajamar hasta los 40 m de profundidad. Esta distribución depende de factores

limitantes, entre los que destaca el grado de contaminación. Se puede decir que las fanerógamas marinas son unos buenos bioindicadores del estado medioambiental de las aguas del litoral andaluz.

## OBJETIVOS

El objetivo general del proyecto es la implementación de nuevas metodologías basadas en la utilización de sensores hiperespectrales en el ámbito del medioambiente, dirigido a la conservación y gestión sostenible de las fanerógamas marinas. Se persigue la delimitación de las praderas de fanerógamas en el ámbito del Parque Natural Marítimo Terrestre de Cabo de Gata – Níjar; discriminación de especies dentro de la pradera, haciendo especial hincapié en las que se han centrado los planes de protección de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía en los últimos años; caracterización y estudio de las tipologías de especies, teniendo en cuenta los diferentes parámetros físico-químicos que condicionan la calidad del agua y repercuten en la creación de hábitats potenciales para dichas especies; identificación de las diferentes Unidades Ecológicas creadas a partir de los datos anteriores; y generación de una cartografía específica a mayor detalle para la ayuda a la gestión de este hábitat.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El mayor reto para poder cartografiar el lecho marino es la obtención de una imagen de reflectancia de fondo. Para ello se caracteriza la columna de agua mediante un modelo de transferencia radiativa. El análisis de dichos modelos permite determinar la instrumentación óptima deseable.

Un estudio completo de la respuesta espectral del fondo y de la columna de agua requiere la instrumentación necesaria para medir u obtener de forma indirecta, a partir de medidas realizadas, los siguientes parámetros:

- Reflectancia medida desde fuera del agua (R).
- Irradiancia descendente (Ed) a diferentes profundidades, permite obtener el coeficiente de atenuación difusa descendente (Kd).
- Irradiancia ascendente (Eu) a diferentes profundidades, que permite obtener el coeficiente de atenuación difusa ascendente (Ku).
- Transmisividad del agua ( $\tau$ ).

La reflectancia medida desde fuera del agua (R) se obtiene a partir de la medida directa de la radiancia e irradiancia. La radiancia se obtiene según Mobley, 1999 y Farsion y Muller, 2000 a partir de la siguiente ecuación.

$$L_{\text{sfc}} = L_w + \rho * L_{\text{sky}}$$

donde:

$L_{\text{sfc}}$  = radiancia de la superficie del agua (en el aire) medida desde la cubierta de un barco.

$L_w$  = radiancia del agua.

$L_{\text{sky}}$  = radiancia del cielo.

$\rho$  = factor de reflectancia que depende de la velocidad del viento, ángulo cenital solar y cobertura nubosa.

La irradiancia (Ed) por encima de la superficie del agua se obtiene a partir de la medida de radiancia sobre una superficie Lambertiana.

La reflectancia de superficie, por lo tanto, se calcula según:

$$R = (L_w / E_d) * \Pi$$

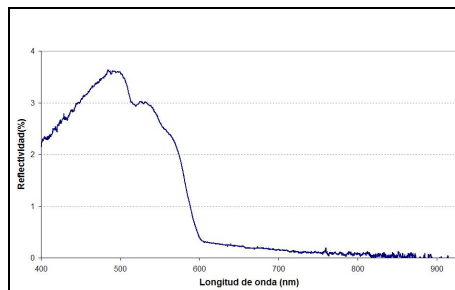


Figura 1.- Reflectancia de superficie en un punto de agua.

La caracterización de la columna de agua necesita, además, del cálculo de los coeficientes Kd y Ku que describen la atenuación de Ed y Eu respectivamente. Estos coeficientes dependen de las propiedades ópticas inherentes al agua, profundidad, tipo de fondo y condiciones de iluminación.

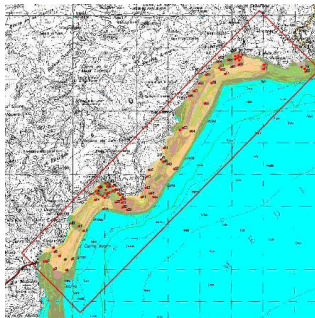
El diseño de la campaña de campo y selección de los puntos de muestreo se basa en el conocimiento del tipo de sustrato, la especie de fanerógama, su cobertura y la profundidad, como se indica a continuación (Tabla 1).

**Tabla 1.-** Matriz de variables cubiertas en la selección de los puntos de muestreo.

	Tipo de Sustrato								Cobertura pos. %	
	Arena				Roca					
	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30		
Cymodocea	X	X	X	X	-	-	-	-	-	0 - 25
Posidonia	X	X	-	-	-	-	-	-	-	25 - 50
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50 - 75
	X	X	-	-	-	-	X	-	-	75 - 100
Pradera Mixta	X	X	X	X	-	-	-	-	-	0 - 25
	-	X	X	X	-	-	-	-	-	25 - 50
	-	-	X	-	-	-	-	-	-	50 - 75
	-	-	X	-	-	-	-	-	-	75 - 100

La campaña se realiza en un barco de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, el Ama 7, de 11.90 m. de eslora, 4.16 m. de manga y un puntal de 2.24 m. de profundidad. El equipo de medición consta de cuatro espectrorradiómetros (ASD-FR, dos USB2000 y USB4000) con los que se obtienen los perfiles de irradiancia descendente e irradiancia ascendente, además de permitir la corrección atmosférica de las imágenes y la obtención de una librería espectral.

Se seleccionan alrededor de 60 puntos de muestreo, (Figura 1) entre los que se incluyen algunos medidos en tierra utilizados para corregir y validar la imagen de reflectancia.



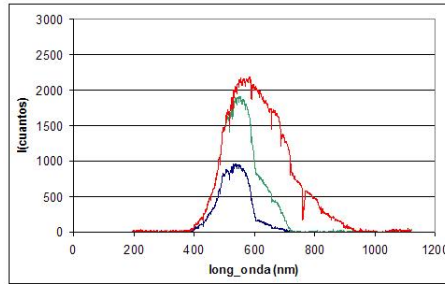
**Figura 2.-** Localización de los puntos de muestreo. Parque Natural Cabo de Gata-Níjar (Almería).

Para obtener la irradiancia solar dentro del agua ( $E_d$  y  $E_u$ ) se adquieren medidas a 3 profundidades: superficie, punto medio y fondo que correspondería con la profundidad existente en cada punto. En cada profundidad se toman 10 medidas, de las cuales se obtiene la media. A partir de las irradiancias descendentes,  $E_d$  (Figura 2), se determina el coeficiente de atenuación difusa descendente,  $K_d$  (Figura 3) según Jerlov, 1976:

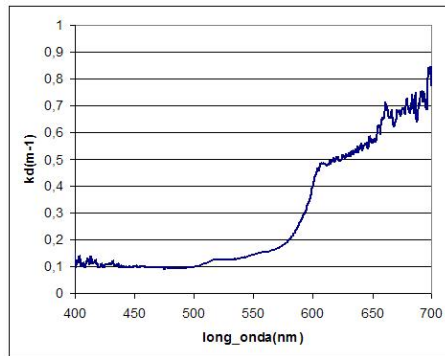
$$K_d = 1 / (z_2 - z_1) * \ln(E_d(z_2) / E_d(z_1))$$

donde:

$z_n$  es la profundidad a la que se toman las distintas medidas.



**Figura 3.-** Irradiancia descendente ( $E_d$ ) tomada a las diferentes profundidades de un punto de muestreo cuya profundidad máxima es de 7m. En color azul se representa la medida del fondo, en verde la medida en el punto medio y en rojo la medida a un metro por debajo de la superficie.



**Figura 4.-** Coeficiente de atenuación difusa descendente calculado para un punto de muestreo cuya profundidad máxima es de 7m.

A partir de las medidas de irradiancia solar ascendente ( $E_u$ ) se obtiene el coeficiente de atenuación difusa ascendente ( $K_u$ ):

$$K_u = 1 / (z_2 - z_1) * \ln(E_u(z_2) / E_u(z_1))$$

donde:

$z_b$  es la profundidad del fondo.

Caracterizada la columna de agua y a partir de las imágenes de reflectancia de superficie (Figura 4), se obtiene la reflectancia de fondo ( $R_b$ ) aplicando la ecuación de transferencia radiativa desarrollada por Maritorena (Maritorena et al 1994).

$$R_b = R_\infty + (R - R_\infty) \cdot \exp[-(K_u + K_d) \cdot z_b]$$

donde:

$R_\infty$  es la reflectancia por debajo de la superficie de un punto de profundidad tal que no hay respuesta del fondo.

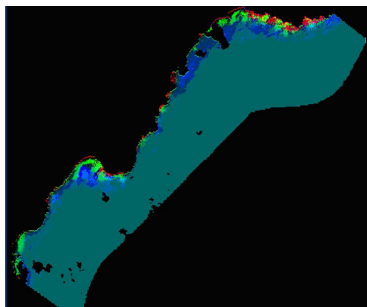
Una vez obtenida la imagen de reflectancia de fondo, se aplican metodologías propias del análisis hiperespectral, como son: Spectral Angle Mapper (SAM), Localización de Píxeles Puros (PPI), aplicación de índices normalizados entre bandas para la localización de áreas de fanerógamas marinas, etc.

## CONCLUSIONES

Un primer análisis indica que el intervalo de longitud de onda en el cual la energía llega al fondo está comprendido entre 390 y 730nm. La energía se atenúa de manera diferente en la primera capa y en la segunda, por tanto, existen dos tipos de agua diferentes.

Por otro lado, los datos de todos los puntos permiten delimitar la diferencia en la respuesta y generar 2 grupos de espectros de reflectancia, aquellos en los que se ve el fondo y aquellos en los que no. Se puede delimitar el umbral en el que se ve el fondo de aquel en el que no se ve, como los espectros cuyo máximo en el verde (500 nm) está por encima del 2% de reflectancia.

Con la imagen de reflectancia de fondo obtenida y tras los procesos propios de análisis hiperespectral se obtiene la delimitación de las áreas donde se localizan las praderas de fanerógamas marinas (Figura 5). Una vez localizadas éstas, se obtienen los espectros de las diferentes áreas encontradas, analizando y caracterizando con datos de campo las distintas especies encontradas.



**Figura 5.-** Imagen preliminar del bentos marino.

## BIBLIOGRAFÍA

Fargion, G. S. y Mueller J. L. 2000. Ocean Optics Protocols for Remote Sensing Ocean Color Sensor Validation, Rev. 2 *NASA, Goddard Space Flight Center*. Greenbelt, Maryland.

Jerlov, N. G. 1976 *Marine Optics Elsevier*, Amsterdam.

Maritorena, S., Morel, A., Gentili, B. 1994. Diffuse Reflectance of Oceanic Shallow Waters. Influence of water depth and bottom albedo. *Limnology and Oceanography*, 39 (7).

Mobley, C. D. 1999. Estimation of remote sensing reflectance from above-surface measurements. *Applied Optics*, vo.38, nº2, pp.7442-7445.

## AGRADECIMIENTOS

Al personal del barco, Juan de Dios, Juan y Norberto; a la gente de Calidad Ambiental de EGMASA Emilio, David, Manolo y Raquel. A Peter Fletcher y a Luis Guanter. Este proyecto forma parte del Plan de I+D+i de Egmasa (Proyecto 06-SG-04), estando parcialmente incentivado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (Programa Profit), así como por la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía (Programa de Incentivos a Empresas), y colaborando con el Programa ERA-STAR Regions.