

Caracterización y delimitación de praderas de *Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa* mediante imágenes procedentes de sensores hiperespectrales (Parque Natural de Gata-Níjar, Almería)

A. Cabello¹, J. E. Frieyro¹, L. Granado¹, A. Hayas¹, E. Méndez¹, G. Montoya¹, I. Pino¹ y J. A. Domínguez²

¹ EGMASA. Dpto de Comunicación y Sistemas de Información y Unidad de I+D+i. Johan G. Gutenberg, 1. 41092, Sevilla. jfrieyro@egmasa.es

² Consultor externo. C/ Bolívar, 17 F 3º D 28045, Madrid.

RESUMEN

Con el objetivo de caracterizar y delimitar las fanerógamas presentes en el litoral andaluz, se inicia una línea de investigación basada en técnicas con imágenes procedentes de sensores hiperespectrales, aprovechando el minucioso registro del espectro electromagnético que proporcionan éstos. Las imágenes adquiridas proceden del sensor CHRIS a bordo del satélite Proba y del sensor aerotransportado CASI.

Se caracterizan espectralmente las especies de fanerógamas, *Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa*, presentes en el Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar, efectuándose una exhaustiva radiometría de campo. Asimismo, se toman medidas para la caracterización de la columna de agua, basada en el cálculo del coeficiente de atenuación difusa (Kd).

La obtención de una imagen del fondo marino requiere de la corrección del efecto de atenuación de la luz con la profundidad. Se aplican diversos métodos, unos basados en la caracterización de la energía a su paso por la columna de agua y otros fundamentados en relaciones empíricas entre datos de campo/imágenes.

En la fase final se procede a la elaboración de la cartografía del fondo marino, partiendo de los procedimientos de clasificación supervisada alimentados por los índices y band-ratios calculados en la fase de análisis de las imágenes.

Palabras clave: hiperespectral, teledetección, fanerógamas marinas, reflectancia del fondo, cartografía, árbol de decisión.

ABSTRACT

In order to characterize and delimitate seagrass bed in the Andalusian coast, a research project using hyperspectral images techniques has been carried out, taking advantage of the electromagnetic spectrum information collected by these sensors in a detailed way. The acquired images are from the CHRIS sensor onboard in the satellite PROBA and the CASI airborne sensor.

*The study area is Cabo de Gata-Níjar Natural Park (Province of Almería) where different seagrasses species such as *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa* are spectrally characterized through field radiometry. Furthermore, the water column has been characterized through measurements determining the diffuse attenuation coefficient (Kd)*

To obtain bottom reflectance images, it is necessary to correct the depth light attenuation effect. Different procedures are applied, some of them have been based in the energy characterization through the water column and the others supported by empirical relationships among field data and images. During the final work phase the seabed mapping is developed following the supervised classification processes using indexes and band-ratios which have been calculated in the imagery analysis phase.

KEYWORDS: hyperspectral, remote sensing, seagrass, bottom reflectance, mapping, decision tree.

INTRODUCCIÓN

Se pretende analizar la respuesta de cubiertas vegetales sumergidas cuya extensión sólo

ocasionalmente supera la isobata de los 35 m, desarrollando una propuesta metodológica válida y factible, así como los protocolos de trabajo en campo para controlar y verificar el registro de las

imágenes adquiridas y apoyar su procesamiento.

Se seleccionan las praderas de fanerógamas marinas debido al interés ambiental que presentan como protectoras de la biodiversidad litoral y su valor como indicador ambiental de calidad de las aguas, reconocido como tal en la Directiva Marco del Agua del año 2000.

OBJETIVOS

El objetivo principal es la caracterización y delimitación de las praderas de fanerógamas marinas en el ámbito del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar mediante la discriminación de diferentes especies dentro de la pradera, teniendo en cuenta los parámetros físico-químicos que condicionan la calidad del agua y repercuten en la creación de hábitats potenciales para dichas especies. Se persigue la elaboración de una cartografía específica para la ayuda a la gestión y el control de este hábitat.

Como objetivo complementario está la generación de una metodología aplicable a aguas marinas poco profundas basada en sensores hiperespectrales y la validación de estos sensores como herramientas de análisis para la gestión ambiental.

SELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se ha escogido el Parque Natural Marítimo Terrestre de Cabo de Gata-Níjar. En su lecho marino se encuentran las praderas más occidentales del Mediterráneo de *Posidonia oceanica*. El área de estudio seleccionada se localiza en el término municipal de Níjar (Almería) en el sector costero orientado en dirección SW-NE entre las localidades de Las Negras y Agua Amarga.

MATERIAL Y MÉTODO

Adquisición de imágenes

Se han adquirido imágenes del sensor CHRIS (Compact High Resolution Imaging Spectrometer), a bordo del satélite PROBA de la ESA, e imágenes aerotransportadas del sensor CASI (Compact Airborne Spectral Imager), propiedad del Instituto Cartográfico de Cataluña.

En el caso del sensor CHRIS se ha utilizado el modo de adquisición 2, con una resolución espacial de 17 m y una resolución espectral de 18 bandas localizadas en el rango 405-1.035 nm del espectro electromagnético, muy apropiado para estudios en medios acuáticos.

El sensor CASI 550 es un sensor óptico

hiperespectral de barrido (tipo pushbroom) que recoge la información en el rango electromagnético 450-950 nm. Se realizaron dos vuelos a diferentes alturas: un vuelo bajo, en modo espacial, para la obtención de imágenes de 2mx2m de píxel y 25 bandas, cuyo centro y ancho de bandas han sido configurados para este estudio; y un vuelo más alto, en modo espectral, para capturar imágenes de 4mx4m de resolución y 72 bandas homogéneamente distribuidas.

Campañas de radiometría

Durante las campañas 2007-2009, se realizaron medidas para la caracterización de la columna de agua (reflectancia fuera del agua y perfil de radiación luminosa ascendente y descendente de la columna de agua), la caracterización espectral de precisión de muestras, extraídas mediante dragado y realizadas con un laboratorio portátil mediante luz controlada, así como medidas auxiliares de contenido de aerosoles y vapor de agua en la atmósfera. Los datos obtenidos de las campañas se han utilizado en los procesos de corrección y clasificación de las imágenes y validación de resultados.

Tratamiento y análisis de los datos de campo

Con las medidas de irradiancia descendente del sol (E_d), radiancia de la superficie del agua (L_s) y radiancia del cielo (L_c) se ha calculado la reflectancia de la superficie del mar a partir de la fórmula de Mueller (Mueller et al., 2000).

A continuación, se ha realizado el tratamiento de las firmas obtenidas dentro de la columna de agua para obtener los coeficientes de atenuación difusa de la luz y determinar las propiedades ópticas inherentes al agua. A partir de las irradiancias descendentes (E_d) y ascendentes (E_u) se han determinado los coeficientes de atenuación difusa descendente y ascendente, respectivamente (Jerlov, 1976).

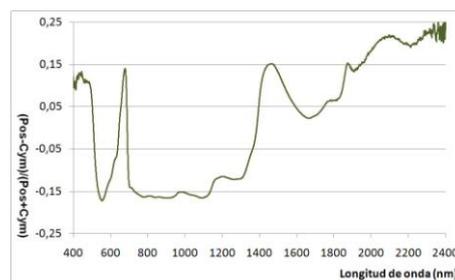


Figura 1: Índice normalizado de fanerógamas.

Por último, se han procesado las medidas de reflectancia, transmitancia y absorbancia de algunas muestras medidas con luz controlada obteniendo la caracterización espectral de las dos especies de fanerógamas presentes en la zona, en distintos estados fenológicos. Se ha realizado un cociente normalizado entre los espectros obtenidos de ambas especies (Figura 1) para determinar las diferencias espectrales entre ellas.

Tratamiento de imágenes para la obtención de imágenes de fondo

Se han realizado las correcciones radiométricas, atmosféricas y geométricas. Para la corrección atmosférica de la imagen CHRIS se ha utilizado un algoritmo diseñado para obtener de la propia imagen los parámetros atmosféricos necesarios para su corrección (Guanter et al., 2006). La corrección atmosférica de las CASI se ha realizado en dos pasos: primero se aplicó el código de transferencia radiativa 6S (Vermote et al., 1997); después, las imágenes se ajustaron mediante el método de línea empírica.

Después, se ha procedido a la identificación de las masas de agua y la generación de máscaras de tierra, utilizando una banda del infrarrojo cercano y la batimetría existente de la zona.

Las imágenes de agua obtenidas han sufrido un proceso de reducción de ruido mediante una transformación lineal MNF. Por último, las imágenes que lo han requerido han sido corregidas del efecto de "sun glint" (Kutser et al., 2009), que desvirtúa la respuesta espectral.

Para calcular la reflectancia del fondo ha sido necesario controlar la claridad del agua, el tipo de fondo y la batimetría. Una primera aproximación se basó en métodos de caracterización del comportamiento de la energía a su paso por la columna de agua (Maritorea et al., 1994), aplicando a las imágenes ecuaciones de dos flujos (upwelling y downwelling) para obtener una solución de transferencia radiativa. El resultado concluyó con la sobreestimación de la reflectancia del fondo en un 20-26%. Por ello se optó por la aplicación de un método derivado de la Ley de Beers, que utiliza dos coeficientes de atenuación diferentes. El resultado mejoró, pero mantenía una acusada influencia de la profundidad por encima de los 10 m.

Al final, la aplicación de métodos de corrección fundamentados en las relaciones empíricas entre datos de campo/imagen ha dado lugar a imágenes de fondo sin aparente influencia de las variaciones en la profundidad y que permitieron, además, discriminar distintos

aspectos de las fanerógamas.

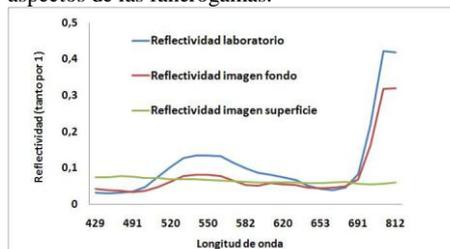


Figura2. Comparativa entre las firmas espectrales de un punto de posidonia.

Análisis de las imágenes. Clasificación

Se han calculado índices normalizados y band ratios, con el propósito de acentuar alguna propiedad característica de la vegetación y realzar las diferencias espectrales entre ellas. Para ello, se ha realizado un estudio minucioso de las firmas espectrales de las dos especies presentes en la zona para encontrar sus máximos y mínimos, y así escoger adecuadamente en el cálculo las bandas a utilizar para cada imagen (Tabla 1). El resultado obtenido se ha utilizado en la clasificación de las imágenes.

En una primera fase se ha realizado una clasificación no supervisada ISODATA, con el objeto de discriminar el fondo sin vegetación de las zonas con vegetación en áreas de poca profundidad. Seguidamente se ha trabajado con dos métodos de clasificación supervisada. Utilizando la información obtenida con ISODATA y los datos verdad-terreno, se han establecido las zonas de entrenamiento representativas de las distintas clases, necesarias para la aplicación del clasificador SAM (Spectral Angle Mapper). De estas zonas se han extraído las firmas espectrales patrón que SAM utiliza para compararlos con los espectros de las imágenes. Se utilizaron sólo las longitudes de onda en las que se habían encontrado diferencias significativas entre los distintos tipos de fondo.

Otro método se ha basado en árboles de decisión (Breiman et al., 1984). El clasificador, a modo de árbol invertido, ha requerido del análisis profundo de las respuestas espectrales de las clases y del conjunto de datos disponibles para determinar las condiciones a aplicar a cada píxel en cada nodo del árbol; la respuesta positiva o negativa ha dado lugar a otra condición, continuando así hasta la obtención de la clase a la que pertenece el píxel. Para la elaboración de estas condiciones se han ido definiendo umbrales del índice o band ratio adecuado a la clase que se ha querido extraer. Tras un proceso de post

clasificación, se ha evaluado el resultado con la construcción de matrices de confusión, enfrentando las clasificaciones con datos verdaderos, concluyendo que la exactitud de las clasificaciones globales está por encima del 75%, presentando un coeficiente Kappa por encima del 0,65.

	IND IR-R	B_RAT				
CASI 2X2 M			605-491	550-491		429/491
						491/502
						491/512
CASI 4X4 M		758-553	606-493	553-493	584-606	493/509
		758-576	629-493			493/516
		758-584	682-441			584/553
CHRIS	755-680					490/510

Tabla 1: Índices y cociente entre bandas más significativos.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

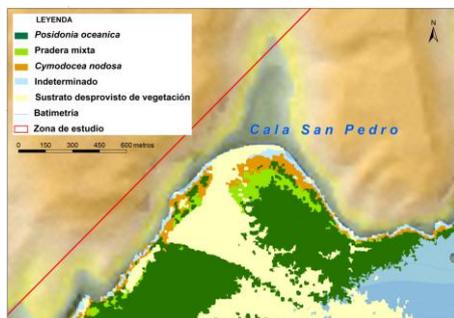


Figura 3: Cartografía derivada de la imagen CASI de resolución 4mx4m.

Se ha obtenido una cartografía de los hábitats bentónicos del área de estudio, generando mapas (Figura 3) que muestran de forma ininterrumpida, la distribución y caracterización de las fanerógamas. Se han discriminado diferentes tipos de coberturas y fondos, no sólo lo referido a las fanerógamas sino también a los fondos donde se asientan. La correcta eliminación de la columna de agua es fundamental para obtener resultados fiables.

En cuanto a resolución espectral, la diferente configuración del sensor CASI en sus modos espacial y espectral no ha supuesto una diferenciación espectral en las firmas, debido principalmente a que en el vuelo bajo las bandas se localizaron de forma expresa para recoger los picos de interés de las fanerógamas. En este sentido, el modo 2 de CHRIS-Proba lo ha convertido en un sensor también útil para estudios en agua, cubriendo prácticamente de forma continua la región visible del espectro.

En lo referido a resolución espacial, si bien un menor tamaño de píxel ha supuesto una menor presencia de mezclas en los píxeles, éstos se han visto afectados en mayor medida por otros factores (viento, oleaje y relación señal/ruido). Respecto a las imágenes CHRIS, su resolución espacial ha resultado suficiente para la delimitación de las praderas de fanerógamas marinas a una escala inferior pero adecuada para el seguimiento a nivel global de las praderas.

BIBLIOGRAFÍA

BREIMAN, L., Friedman J.H., Oldshen R.A., and Stone C.J., 1984. *Classification and Regression Trees*. Belmont, California, Wadsworth International Group, 358 pags. ISBN: 0-412-04841-8.

GUANTER, L. et al., 2006. *Coupled Approach for Spectral/Radiometric Calibration and Surface Reflectance Retrieval from CHRIS/PROBA Data*. 4th ESA CHRIS/PROBA Workshop. ESA/ESRIN.

JERLOV, N.G., 1976. *Marine Optics*. Amsterdam, Elsevier, 231 pags.

KUTSER, T. et al., 2009. *A sun glint correction method for hyperspectral imagery containing areas with non-negligible water leaving NIR signal*. Remote Sensing of Environment, 113, 2267-2274.

MARITORENA, S., MOREL, A. y GENTILI, B., 1994. *Diffuse Reflectance of Oceanic Shallow Waters: Influence of water depth and bottom albedo*. Limnology and Oceanography, 39 (7), 1689-1703.

MUELLER, J.L. et al., 2000. *Above-water radiance and remote sensing reflectance measurement and analysis protocols. Chapter 10*. NASA/TM-2000-209966 Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation, revision 2. NASA-GSFSC. Editores: Giulietta S. Fargion and James L. Mueller.

VERMOTE, E.F. et al., 1997. *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An overview*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 35 (3), 675-686.

AGRADECIMIENTOS

A la ESA por los datos cedidos del sensor Chris Proba.